BULLETIN
OF THE
NANSEI REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY

No. 9

南西海区水産研究所研究報告

第 9 号

昭和51年11月
南西海区水産研究所
広島

NANSEI REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY
FISHERIES AGENCY
HIROSHIMA, JAPAN
November 1976

目　　　次

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (9) 1～11 (1976)

マダイ稚仔魚の形態学的研究—I.

鰭の形成について

福原　修

Morphological Studies of Larva of Red Sea Bream-I.

Formation of fins

Osamu FUKUHARA

The newly hatched larvae of red sea bream, *Chrysophrys major*, have been reared in the laboratory to study the functional morphology of fins.

Fertilized eggs were collected during May and June from parent fish which were kept in the concrete aquarium and floating net cages, then transferred to an indoor incubation tank.

Four kinds of live food organisms, oyster larvae, marine rotifer, *Tigriopus* and *Artemia* nauplii, were fed to the larvae and minced fish meat to the juvenile. The rearing was carried out in circular tanks of 500 *l* capacity at the water temperature ranging 18 - 24°C.

The observations of fin formation were carried out on about 480 specimens preserved in 5 % or 10 % formalin solution. They were stained with alizarin red and were observed under binocular microscope for outlines, segmentation and branching of fins.

Segmentation of soft rays in each fin occurred during the brief period of transition from the larva to the juvenile. The fin development was mostly completed when no traces of the larval fin fold was observed. The marginal portion of caudal fin also changed rapidly during this period from rounded type to truncated one. High mortalities among the rearing larvae were usually associated with these changes in the fin structures.

The first appearance of the branched ray in the unpaired fins was observed after all the fin rays have been segmented, while in the paired fins the formation periods of segmentation and branching were partly overlapped. The number or branched rays of all the fins increased with growth of the larva, but branching required longer period than segmentation.

近年，マダイ稚仔魚を飼育する技術が発展し，数量的にも増養殖種苗としての使途が期待できる段階になりつつある。しかし，生産された種苗を資源培養のための放流用あるいは養殖用として利用する際に，各成長過程における生態が明らかでないため，放養種苗の適正サイズ，放養水域の環境，放養方法の検討など多くの問題を残している。こうした問題を解決するためには天然域における稚仔魚の生態を追跡すると同時に，各発育段階における諸器官の形態と機能を十分明らかにし，それぞれの発育期に応じた対策を考える必要があろう。生態に関しては特に游泳行動の基礎となる器官の発生を明らかにすることが重要であると思われる。

1976年6月30日受理　南西海区水産研究所業績55号

マダイ幼期の形態に関しては，岸上(1915)[1]，神谷(1922)[2]，梶山・西岡(1930)[3]，水戸(1963)[4]らが卵および稚仔魚の発生について，山下（1963)[5]が稚仔の形態と行動について，また最近，田中（1969[6]，1971[7]）は内部諸器官の発達についてそれぞれ報告しているが，外部形態変化を機能の発達との関連において吟味した例はない。本研究では，幼期の形態を特に生活様式に及ぼす影響が大きいと考えられる器官について観察し，各発育段階における形態的特徴を明らかにすることによって，生活様式のうつりかわりを知るための手がかりを得ようと試みた。今までに行った一連の観察によれば仔魚から稚魚への形態的移行期に諸器官が新しい発育段階に達し，生活様式の転換が行われると考えられる。ここでは，主として人工飼育によって得た標本を用いて観察した外部形態のうち，行動と最も関連が深いと考えられる鰭の形成とそれに伴う行動の変化について報告する。

本研究を進めるにあたり，終始，援助と指導をいただいた本所増殖部栄養生理研究室長阪口清次博士，適切な助言と校閲を賜わった本所内海資源部倉田博博士，ならびに本文の御校閲をわずらわした遠洋水産研究所水戸敏博士に心から深謝する。また，実験材料の採取に御協力をいただいた広島県水産試験場伏見徹研究員，および統計処理について御指導いただいた梅沢敏技官に感謝の意を表する。

材　料　と　方　法

1.　供試魚と飼育

受精卵は陸上水槽および海上生簀で飼育した親魚が自然産卵したものを用いた。室内で受精卵を流水飼育し，得られたふ化仔魚は主に室内で培養した生物餌料で飼育した。使用した餌料と投与期間（ふ化後経過日数）はつぎのとおりである。すなわち，マガキ，*Crassostrea gigas* 幼生（2日～8日），シオミズツボワムシ，*Brachionus plicatilis*（5日～18日），シオダマリミジンコ，*Tigriopus japonicus*（10日～30日），ブラインシュリンプ，*Artemia salina* の nauplii（20日～28日）である。また，ふ化後35日前後からは魚肉小片を投与した。飼育水槽（Polycarbonate 製）は半透明の円形で容量は 500 ℓ である。供試魚の体長は約 2.3㎜～52.0㎜である。

飼育実験は1973年から1975年にかけて毎年5月から当研究所水槽室で行った。疾病による飼育稚仔魚のへい死は認められなかった。

2.　固定および観察

観察標本は，生き残りが良好な飼育水槽から正常と思われる稚仔魚を適時採取し，5～10%中性ホルマリン溶液で固定した後，常温でアリザリン染色[8]を行った。染色した標本は，仔魚膜および各鰭膜の形状観察と各鰭の分節軟条，分枝軟条を計数した。分節軟条とは節をもつ単一軟条を，分枝軟条とは分節した軟条の最上部の節が枝分かれしたものとした(Lagler et al.[9] 参照)。仔魚膜と不対鰭（背，臀，尾鰭）の形状観察は標本と共に，対鰭（胸，腹鰭）の場合は，左体側の鰭を基部から実体顕微鏡下で解剖用器具を用いて切除した後，それぞれ万能投影器を使用して輪郭を透写した。対鰭については稚仔魚の成長に伴う伸長を知るため長さも測定した（Fig. 2 参照）。左側の鰭が破損している場合は，鰭条数を求める場合に限り右側の鰭を用いた。体長測定は観察個体の大きさに応じて光電式マイクロメーター，実体顕微鏡用計測装置またはディバイダーを用い，いずれも½㎜まで測定した。

結　　果

1.　仔魚膜および不対鰭の形状変化

稚仔魚の発育に伴う鰭の形成過程を Fig. 1 に示した。ふ化仔魚から幼魚までの仔魚膜，鰭を中心とした形態変化はつぎのように区分することができる。

前期仔魚期（Fig. 1, A），仔魚膜は頭部に始まり，肛門部周辺で終わる。背側，腹側はほぼ同じ幅で，脊索後部の上下外縁はなめらかにくぼむ。

後期仔魚期—1（Fig. 1, B, C），仔魚膜は頭部後方より始まり幅は前期に比べるとかなり狭くなる。脊索後部上下外縁の仔魚膜のくぼみはさらに増し，背側，腹側周縁の盛り上がりが目立ってくる。この時期に背鰭，臀鰭の基底部，尾下骨の形成がみられる。尾柄部の仔魚膜外縁のくぼみは更に明瞭となり，背鰭，臀鰭とも次第に分化し始めるが，両鰭とも基部後端で尾鰭と連続する。尾鰭後縁は前期仔魚期と大差なく，まだ上下不相称な円形を呈する。

後期仔魚期—2（Fig. 1, D），各鰭はほぼ分離し，背鰭は棘条部と軟条部の間にくぼみを生ずる。尾鰭後縁は，円形から截形になる。各鰭条の分節が盛んになり，形態的には後期仔魚から稚魚への移行期にあたり，初生鱗の形成が始まる。

稚魚期（Fig. 1, E, F），背鰭基部の前端は前期よりやや後方に位置する。各鰭は完全に分離するが，鰭の形状は前期と大差がない。軟条の分節が盛んな時期である。尾鰭後縁が截形から湾入形へと変化する時期に軟条の分節は完了し，分枝を開始する。体表全面に鱗が認められる。

幼魚期（Fig. 1, G），尾鰭後縁が湾入形から叉形へと変化する以外は前期と大差ない。各鰭軟条の分枝が完了する個体が出現する。

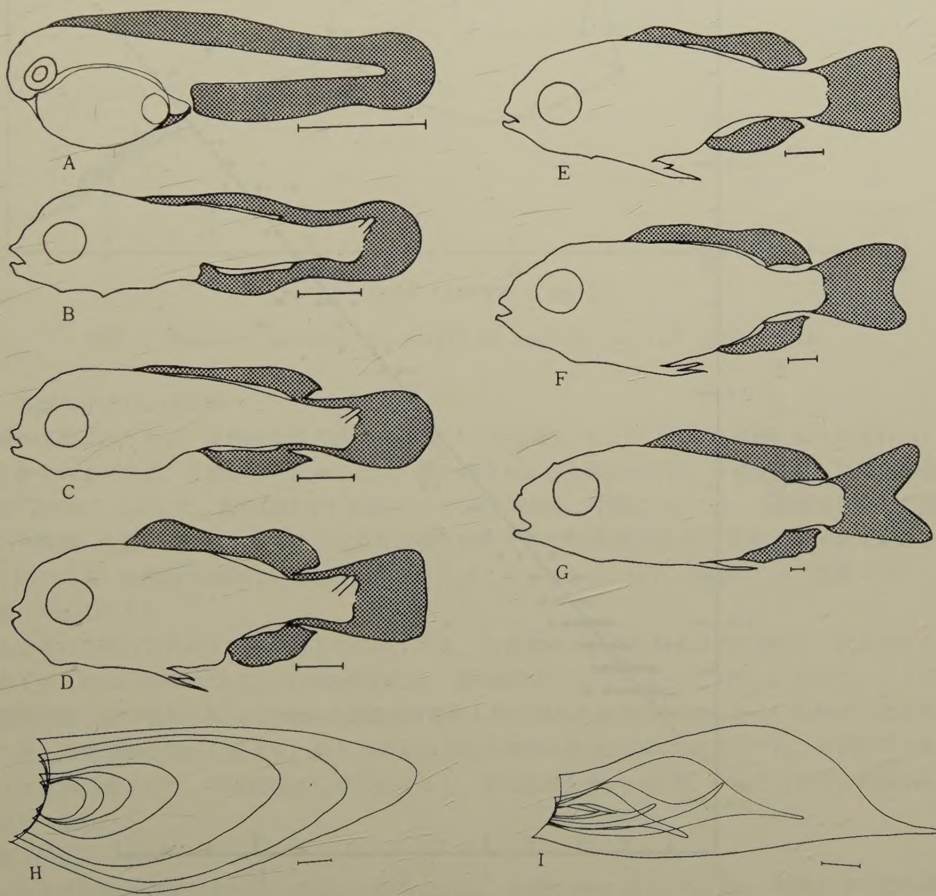


Fig. 1. Semidiagrams showing developmental change in the unpaired (A-G) and paired (H, I) fins: A, pre-larva; B, C, post-larva; D, transitional phase; E, F, juvenile; G, young; H, pectoral fin; I, ventral fin. Scales denote 1 mm.

2. 対鰭の形状変化

胸鰭と腹鰭の成長に伴う形状変化をそれぞれ Fig. 1, H, I に示した。胸鰭はふ化後1日目に認められ,[4)] 体長7.0mm前後までウチワ状を呈するが,前期仔魚期の胸鰭は長さが幅より短いウチワ状である。以後,成長するに従い楕円状となり,さらに先端が尖がり,游泳に適した鎌状の形態へと発達する。胸鰭の発達を基部の幅(W)と長さ(L)の関係で表わすと Fig. 2 に示したように回帰直線式 W=0.252L+0.283が得られ,基部の幅より長さの増加が著しいことを表わしている。胸鰭の長さ(Y)と体長(X)との関係を Fig. 3 に示した。胸鰭の長さは体長約12mmを境にY=0.376X−1.627, Y=0.225X+0.110の二つの回帰直線式で示され,ふ化から体長50mm前後までは体長の約22%程度を占めることになる。体長約12mmの稚魚は,鰭の発達からみると各鰭条の分節を終了し,分枝の開始が認められる時期にある。

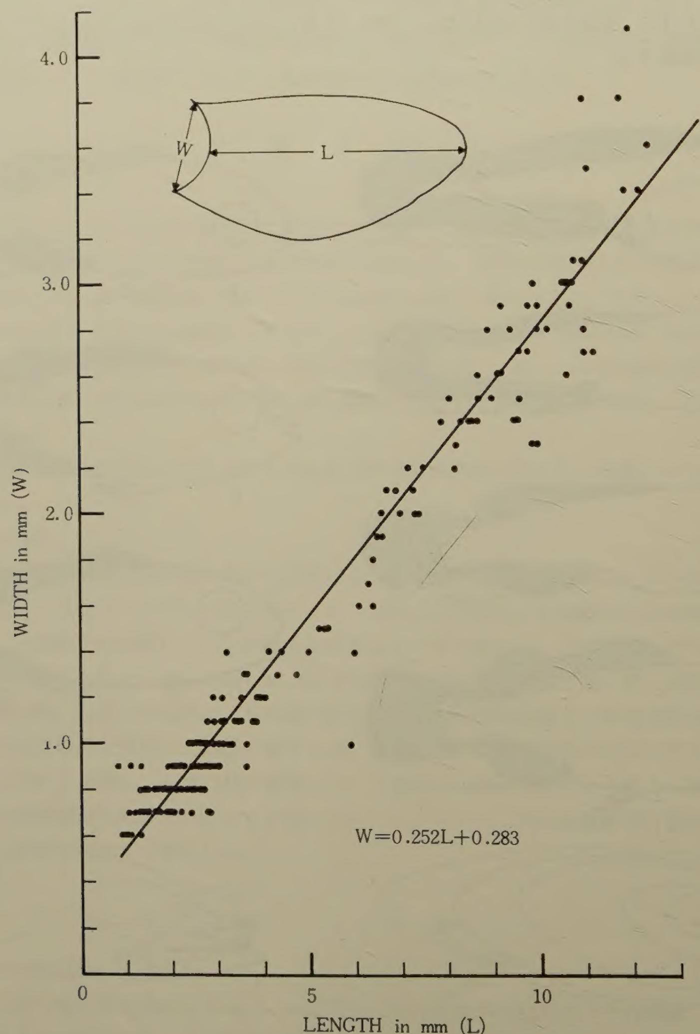


Fig. 2. Diagram showing relation between the width at base and the length of the pectoral fin.

腹鰭は仔魚期にはほぼ相称な楔形を呈し，体長9.0㎜前後から最外軟条が著しく長くなると共に鰭の中央部のふくらみが増す。鰭の長さの増加はほぼ胸鰭と同様な傾向を示し，腹鰭の長さ（Y）と体長（X）との間に回帰直線式Y＝0.267X－0.489が得られた。

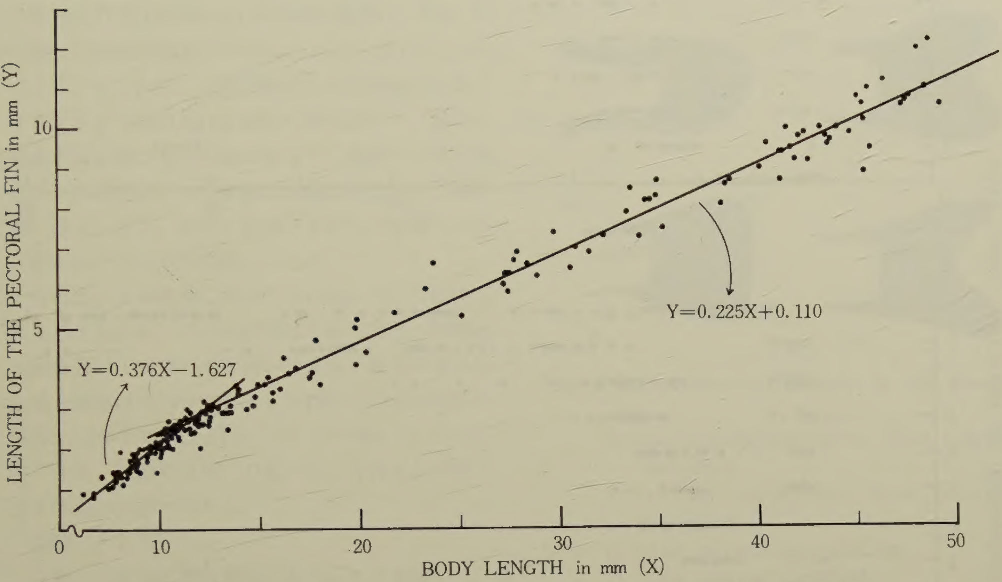


Fig. 3. Relation between the length of pectoral fin and body length.

3.　各鰭の分節および分枝

各鰭の成長に伴う分節，分枝軟条数の変化を Fig. 4（不対鰭），および Fig. 6（対鰭）にそれぞれ示し，各鰭の軟条にまだ分節，分枝が全く認められない最大個体および全軟条が分節，分枝を完了した最小個体の体長を Table 1 に示した。観察個体は不対鰭については約480尾，対鰭については，不対鰭を観察した個体の中から胸鰭，腹鰭に破損がなく，かつ正常な状態で切除できた約230尾である。分節，分枝軟条数と体長が全く同じであった複数の個体は前述した図中には１点で示してある。以下，各鰭について記載する。

背鰭（Fig. 4 ―上）

軟条10本の分節はきわめて短期間のうちに完了する。分節軟条が現れる体長は約6.0㎜で，軟条10本の分節が終了するのは約9.0㎜である。分節経過を最大，最小個体についてみると Table 1 に示したように分節の開始が最も遅い個体の体長は8.2㎜，分節完了の最も早い個体の体長は7.5㎜である。分枝は全軟条が分節した後，体長13㎜の頃から始まる。軟条が未分枝の最大個体は体長18.3㎜である。また，分枝完了の最小個体は体長26.5㎜であり，分枝期間は分節に比べ長く，個体差が大きい。分節，分枝とも後方の軟条から始まり前方へ進む。

臀鰭（Fig. 4 ―中）

軟条８本の分節は背鰭ときわめて類似した傾向を示す。体長8.0㎜で盛んに行われ，軟条が未分節の最大個体は体長8.2㎜，また分節完了の最小個体は，同様に体長8.2㎜である。軟条が未分枝の最大個体は背鰭と同じであるが，分枝の開始は背鰭よりやや早く11.0㎜頃からである。分枝の完了した最小個体は23.3㎜で分枝の完了も早い傾向を示す。分節，分枝の開始部位は背鰭と同様後方から行われる。

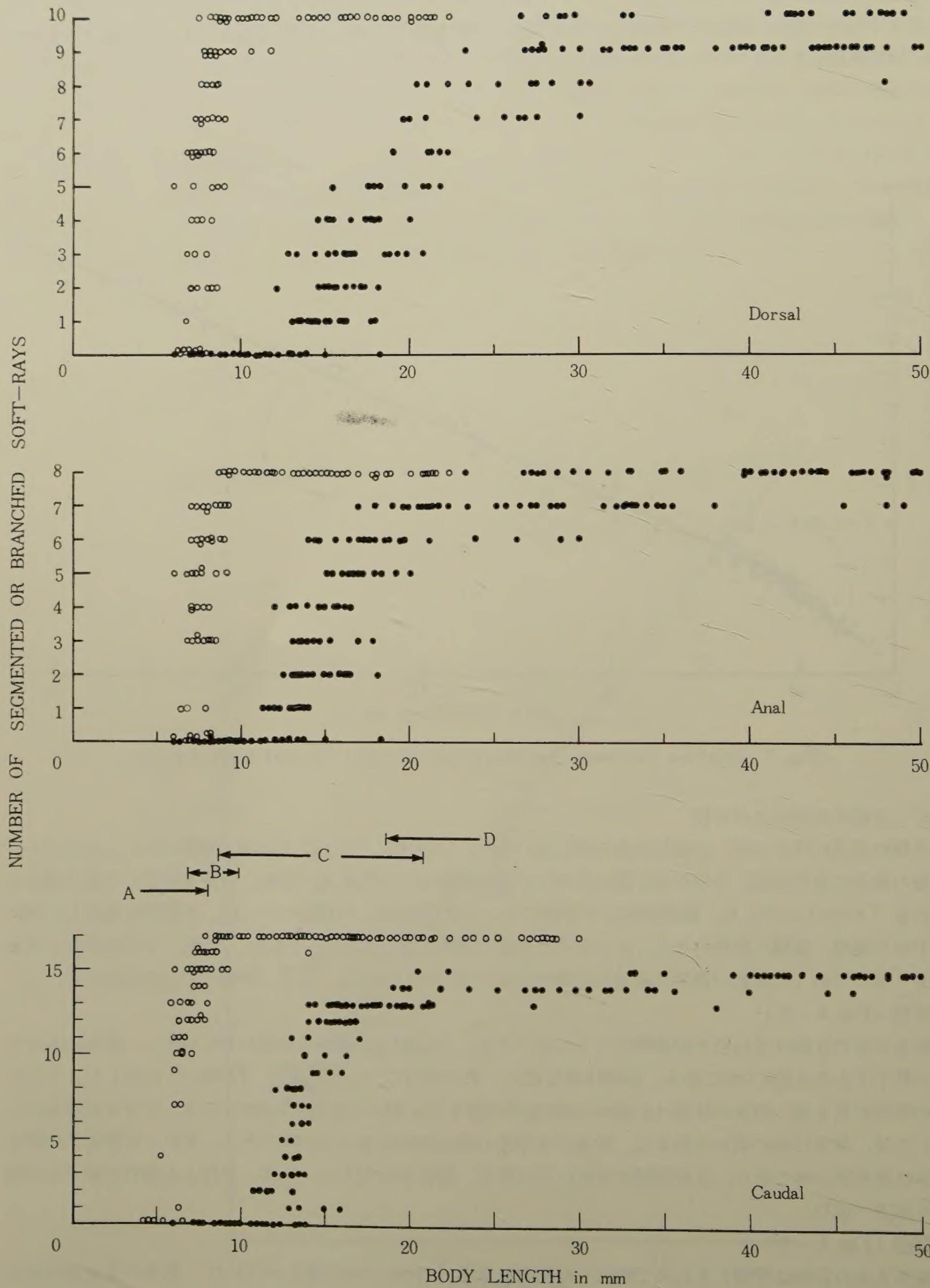


Fig. 4. Segmentation (open circles) and branching (closed circles) of soft rays in the unpaired fins. A-D in the lower figure refer to the shape of hind margin of the caudal fin illustrated in Fig. 5.

尾鰭（Fig. 4 —下）

尾鰭後縁の形状は軟条の分化とよく符合するので，Fig. 4 には後縁の各形状（Fig. 5）に対応する体長範囲を示してある。分節条数は鰭葉の根元にある棘に類似する痕跡的な鰭条を含めると21本であるが，ここでは一応分類学的に定数[10]とされている17本について観察した。分節は，他の不対鰭より早く，体長8.0㎜までにほとんど完了する。軟条が未分節の最大個体は体長6.3㎜で分節完了の最小個体は，体長7.8㎜である。

稚仔魚の発育段階および分節の状態は，Fig. 5 に示した尾鰭後縁形状からもうかがい知ることができる。すなわち，A型は軟条分節の開始から完了する直前までの後期仔魚期から稚魚期まで，B型は軟条の約半数以上の分節が完了する稚魚への移行期あるいは稚魚期，またC型は全軟条が分節した稚魚期以降といえる。截形の尾鰭（B型）は稚魚への移行期における一つの指標といえる。

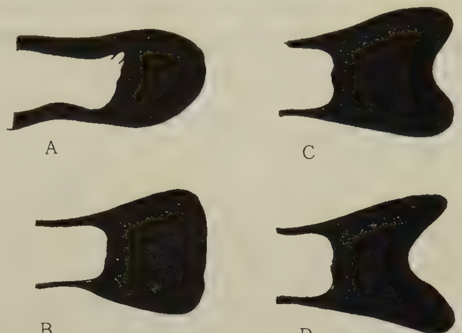


Fig. 5. Developmental criteria in the caudal fin.
A, continuous anteriorly, hind margin convexed.
B, isolated anteriorly, hind margin truncated.
C, hind margin emarginated.
D, hind margin furcated.

分枝は，分節軟条17本のうち15本について認められる。すなわち，不分枝軟条は2本である。臀鰭と同様体長11.0㎜頃から分枝が始まる。軟条が未分枝の最大個体は14.4㎜である。分枝完了の最小個体は体長20.5㎜で35㎜以上はほとんどの個体で，分枝が完了する。後縁の叉形（D型）は，分枝がほぼ完了する時期から認められる。

腹鰭（Fig. 6 —上）

分節，分枝共に形成期間が長く，かつ重複しているのが大きな特徴である。軟条が未分節の最大個体は体長8.9㎜，分節完了の最小個体は体長10.3㎜で，不対鰭に比べるとやや大きい。分枝は，分節が未だ完了しない体長9.0㎜頃から始まり，軟条が未分枝の最大個体は体長10.5㎜で，分枝完了の最小個体は15.6㎜である。分枝の完了は他の鰭に比べて著しく早いのが特徴である。分節，分枝は最外軟条から始まる。

Table 1. The largest size with unsegmented or unbranched rays and the smallest size with completely segmented and branched rays.

Criteria	Fin	Segmentation	Branching
Largest size with undeveloped rays (body length in mm)	Dorsal	8.2	18.3
	Anal	8.2	18.3
	Caudal	6.3	14.4
	Pectoral	7.9	19.8
	Ventral	8.9	10.5
Smallest size with fully developed rays (body length in mm)	Dorsal	7.5	26.5
	Anal	8.2	23.3
	Caudal	7.8	20.5
	Pectoral	18.0	34.0
	Ventral	10.3	15.6

胸鰭（Fig. 6 —下）

軟条15本のうち，第１軟条（上縁の痕跡的鰭条）は体長50mm以内では節を生じない。また，成魚においてもこの鰭条はきわめて細く，かつ短い棘様構造をしている。また分節も判然としないため，本実験では第１軟条を除いた14本の軟条について分節，分枝を観察した。分節は主に体長約8.0mmから体長約20mmの間に行われ，他の鰭に比べ形成期間が長い。軟条が未分節の最大個体の体長は7.9mmで分節完了の最小個体の体長は18.0mmである。体長40mm以上でも分節軟条13の個体が多い。

分枝は，軟条11本について認められる。体長12mm頃から始まり，軟条が未分枝の最大個体は体長19.8mm，分枝完了の最小個体の体長は34.0mmで，分節と同様他の鰭に比べ形成期間が長いのが特徴である。

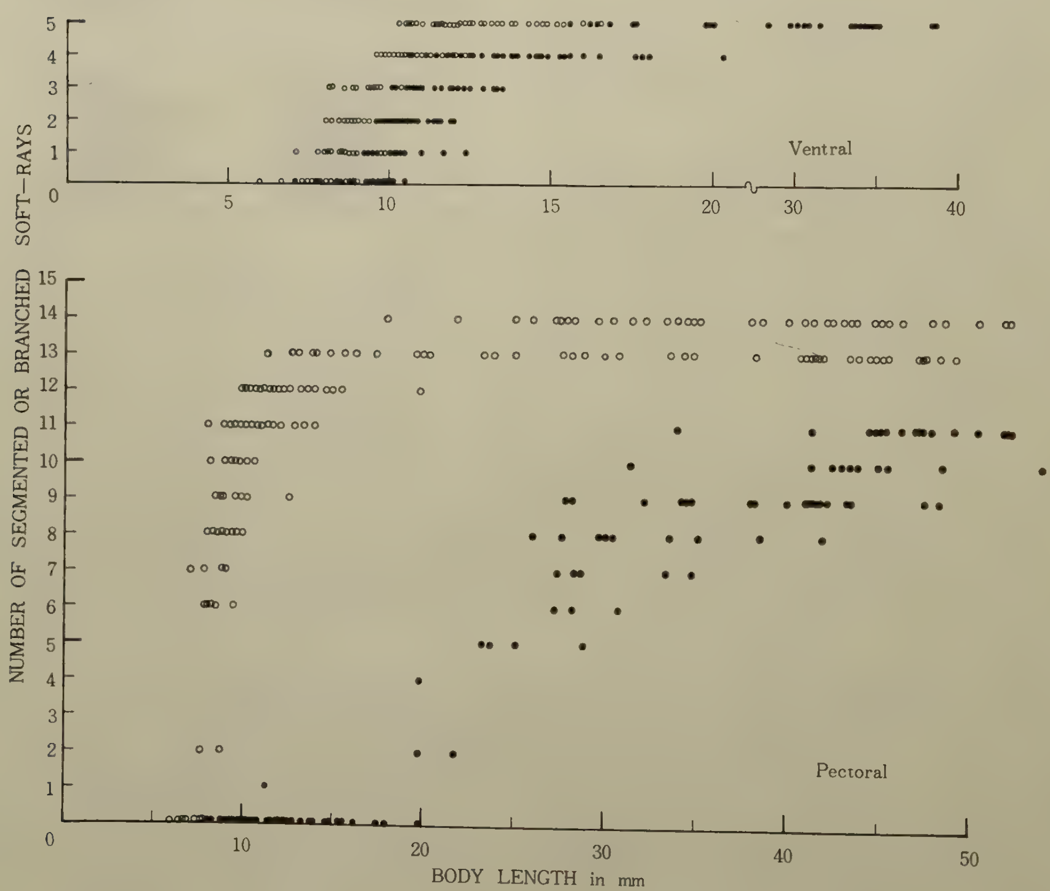


Fig. 6 Segmentation (open circles) and branching (closed circles) of soft rays in the paired fins.

4.　水槽内における稚仔魚の行動

ふ化直後の仔魚は水槽表面に懸垂した状態で水の動きに従う。２日目には時折り動くようになるが，静止している時間が長い。正位姿勢で游泳を開始するのはふ化後３日以降で日数が経過するに従い水槽内の上層を盛んに游泳するようになる。摂餌行動は体をＳ字状あるいはＬ字状に曲げることにより行われる。鰭が連続している後期仔魚期までは体を折り曲げて餌を捕食する。また，通気によって生ずる水槽内の流れには，きわめてゆるやかな場合以外は概して抗しきれない。不対鰭が分離し，対鰭が長さを増し，尖ってくる体長8.0㎜前後から中層ないし下層での游泳が多くなり， 行動はすばやくなると同時に 物蔭にかくれるようになり，槽内に生じた流れにはほとんど抗しきれる。またこの時期は，特に顕著ななわばり形成，友喰い現象が認められ，物蔭からすばやく死餌を捕食するようになり，明らかに仔魚期とは異なる行動が認められる。稚魚期以降は前述したなわばり形成，友喰い行動も少なくなり，多くは底層を游泳し，行動面での特に大きな変化はない。

考　　　　　察

鰭の発達は，幼期に限らず生活史全般において，すみ場，行動，食性などの生活様式と密接に関係していると考えられる。今回の観察からみるとマダイの場合，鰭としての形態，機能の基本は体長30㎜の成長段階で完成しているといえる。鰭の形成を中心にまとめると Fig. 7 のように表わされよう。Fig. 7 の鰭，鱗の形成期間はそれぞれが形成開始の認められた個体の最小体長から形成完了個体の最小体長の範囲で表示してある。体長8.0㎜から20㎜までは鰭の形成にとってきわめて重要な時期である。 また， 初生鱗の形成もこの期間内に認められる（未発表）。形態的には体長8.0㎜前後で最初の転換時期を迎え，各鰭の形状は外縁が円い連続した形から游泳に適した尖った形へと変化し，機能的には波状運動によって “動く” 過程から鰭の推進力によって “泳ぐ” 過程へと進む。体表面積に対して鰭の表面積が占める割合は， Fig. 1 で 理解できよ

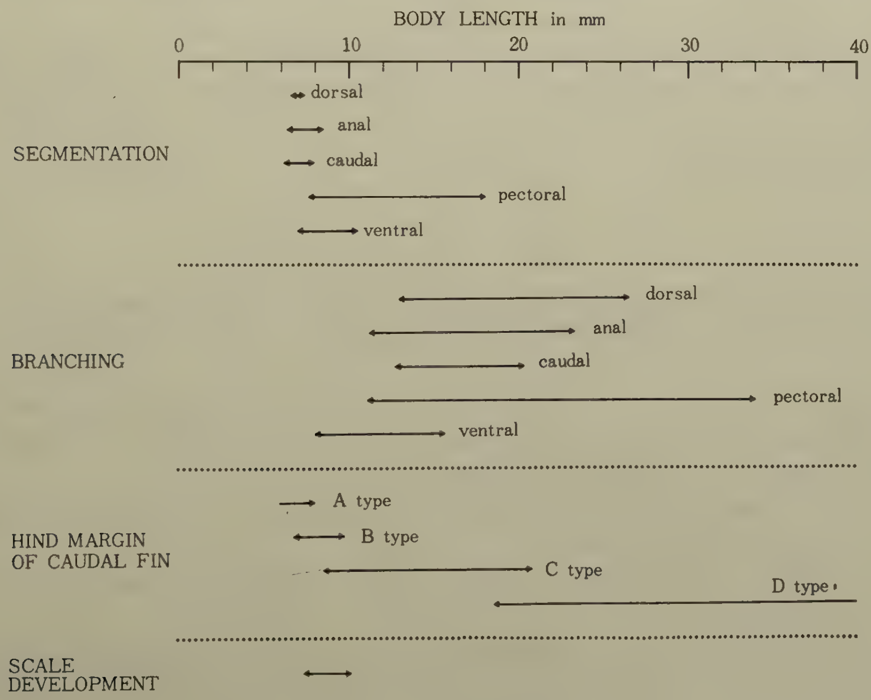


Fig. 7 Sequence in the development of fins.

う、体長8.0㎜前後で鰭の表面積は相対的に減少するが、質的に発達し游泳機能を増大すると考えられる。

鰭の分節は軟条に柔軟性をもたせることにより抗流性を増し，軟条の柔軟性と弾性とが複合することによって鰭の効率は増大するという（Gosline 1973）[12]。水槽内の稚仔魚の行動を観察すると，分節を完了した時期になるとほとんどの稚魚は底層にすむようになり，行動が敏捷になるだけでなく，食性も変化し明らかに生活様式がかわったと判断される。鰭の分化が従来の生活の場から新しい生活の場への進出を保障していることがうかがえる。こうした外部形態の変化する時期は内部形態の変化や生態の変化を伴うといわれている（内田1966[13]，渋谷1969[14]）。田中（1971）[7]は稚仔魚の内部形態，主として消化系器官の観察から，マダイの場合には後期仔魚から稚魚への移行期に内的にも新しい発達段階に達すると指摘している。移行期前後に観察されるなわばり形成，友喰い現象などは生態の変化と解され，種苗生産過程におけるこの時期のへい死防除法を検討する際留意する必要がある。反面，こうした形態的移行期は外部環境の変化に大きな影響を受けやすく，死亡率は高いが，新しい環境条件へ体内機能を調節させやすい。つまり，新しい適応性を獲得する時期であるという[14]。こうした観点からマダイをみると鰭の分化が著しい後期仔魚から稚魚への移行期には大量へい死が起こるが，流水飼育，魚肉への餌付などの飼育様式の変換が比較的容易である。稚魚期になるとへい死がきわめて少なくなり，一応，飼育管理の面では安定した時期に入る。移行期における生理的危険期を経過した個体のみが新しい食性と生活の場を獲得し，生き残ったといえる。

分節を完了すると各鰭の基本的形状が完成し，分枝が始まるが，対鰭では分節と分枝の期間が重複しているのが不対鰭との大きな相違点で，鰭としての役割が異なることを意味している。対鰭の形状は基部が短く，逆三角形状に鰭が広がり，基部を支点に回転させやすい構造をしている。不対鰭は推進，対鰭は方向転換と制御をそれぞれ主な機能とするといわれている[9,11,15]。分枝は体長30㎜から40㎜の間でほぼ完了し，一応，鰭としての形態，機能が新しい段階に達したことを示唆している。この時期に達した幼稚魚は，若魚に類似した行動を示すものと思われる。初期生活史における諸器官の発達のうち，最も行動に影響を及ぼす鰭の各発達段階は，生活様式の新しい段階への転換時期との対応を暗示しているといえよう。

人工的に生産されたマダイ種苗を自然の生産力を利用して資源の維持培養をはかるため放流する場合は，自然に適応するための機能を構成する諸器官の分化を十分解明しなければならない。マダイの生活初期における生態解明の基礎的知見を得ることが種苗生産技術の改良，あるいは生産種苗の有効利用と維持培養技術の確立をはかる上で必要となろう。

摘　　要

マダイ幼期における鰭の形成過程を知るため人工飼育で得た仔魚期から稚魚期までの標本をアリザリンで染色した後，仔魚膜，各鰭の形状および軟条の分節，分枝数を観察した。得られた結果はつぎのとおりである。

1. 連続した仔魚膜は，体長8.0㎜前後になると各鰭に分化し，後期仔魚から稚魚へ形態的に移行する。
2. 各鰭は成長に伴って周縁が円い形状から游泳に適した尖りを増す形状へ発達する。特に尾鰭後縁の変化は，後期仔魚期から稚魚期における発育段階によく符合する。
3. 各鰭における軟条の分節は体長7.0㎜前後から始まり，体長18㎜頃までにほぼ完了する。不対鰭の分節は対鰭に比べ短期間内に行われる。
4. 分枝は分節に比べ形成期間が長い。不対鰭は分節完了後に分枝が始まるが，対鰭は分節の完了しない時期から分枝が認められる。
5. マダイの幼期における鰭の形成過程を形態的に区分すると，体長8.0㎜前後と体長30㎜前後で次の発育段階に移行する。この時期は機能的変化を伴い稚仔魚の生活様式に影響を及ぼすことが推察された。

文　　献

1）岸上鎌吉，1915：タイ類の発生及成長．水産学会報1(3)，185—199．

2）神谷尚志，1922：瀬戸内海ニ於ケル浮性魚卵並ニ其稚仔．水産講試報18(3)，32—35．

3）梶山英二・西岡丑三，1930：鯛「ラーバー」飼育完成に就て．水研誌25(2)，15—19．

4）水戸敏，1963：日本近海に出現する浮游性魚卵—Ⅲ．スズキ亜目．魚雑11(1，2)，48—50．

5）山下金義，1963：マダイ養殖の基礎的研究 1，稚仔の行動について．水産増殖11(4)，189—206．

6）田中克，1969：仔魚の消化系の構造と機能に関する研究—Ⅰ．前期仔魚の消化系の発達．魚雑16(1)，1—9．

7）田中克，1971：仔魚の消化系の構造と機能に関する研究—Ⅲ．後期仔魚の 消化系の 発達．魚雑18(4)，164—174．

8）高橋善弥，1962：瀬戸内海とその隣接海域産硬骨魚類の脊梁構造による種の査定のための研究．内水研報(16)，73—74．

9）Lagler, K.F., J.E. Bardach & R.R. Miller, 1962: Ichthyology. xiii + 545pp., Jhon Wiley & Sons Inc.

10）中国科学院海洋研究所，1964：中国經済动物誌，海产魚类，眞鯛．100—102．

11）J．R．ノルマン，1970：魚の博物学．黒沼勝造・上野達治共訳，xii + 393pp.，社会思想社．

12）Gosline, W.A., 1973 : Functional morphology and classification of teleostean fishes. vii + 208pp., The university press of Hawaii.

13）内田恵太郎，1966：魚類の変態．脊椎動物発生学，初版，115—121，培風館．

14）渋谷寿夫，1969：生物学入門．第3版，186pp.，法律出版社．

15）Nikolsky, G.V., 1963 : The ecology of fishes. xv + 352pp., Academic press.

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (9) 13~18 (1976)

マダイ稚仔魚の形態学的研究—II.

初生鱗の発生と生長

福 原 修

Morphological Studies of Larva of Red Sea Bream-II.

Early development of Squamation

Osamu FUKUHARA

Early development of squamation in red sea bream was described in detail basing on the materials reared from egg in the laboratory. The rearing method of the larvae has already been described in the previous paper (Fukuhara, 1976). They were preserved in 5% or 10% neutral formalin solution and stained with alizarin before observation.

The first group of scales appear along the lateral line in the region of posterior end of trunk. Subsequently, the development of squamation proceeds anteriorly and posteriorly along the lateral line. The smallest specimen with fully formed squamation was about 10mm, though the early squamation was observed in as small a specimen as 7.5 mm in body length.

The scale formation was completed in all the specimens greater than 15 mm in body length. Teeth, grooves and ridges first appeared when the fish attained about 10 mm in body length and increased in number with subsequent growth.

The outline of the scales assumed the general character of a ctenoid when the fish attained abont 30mm in body length. The relationship between the scale length (R, mm) and body length (BL, mm) during the larval and juvenile stages may be expressed by a straight line, R = −0.19+0.029 BL, with a regression coefficient of 0.986.

前報では，マダイ幼期の外部形態のうち鰭の形成について観察し，体長8.0㎜前後で鰭の基本的形状が完成したのち体長30㎜頃に機能的にも新しい発育段階に達することを報告した（福原1976）[1]。本報では鰭と同様に行動の分化と重要な関連をもつと考えられる鱗の発生と生長について観察し，幼期における形態的特性について若干の考察を行なった。本種の鱗の発生については天然採集標本について庄島（1958）[2]がふれているのみである。

研究を進めるにあたり終始指導をいただいた本所増殖部栄養生理研究室長阪口清次博士，本所内海資源部倉田博博士ならびに種々有益な助言をいただいた内海資源部矢野実室長に深謝の意を表する。また，実験に協力いただいた広島県水産試験場伏見徹研究員に厚くお礼申し上げる。

材 料 と 方 法

観察に用いたマダイ稚仔魚の飼育，固定および染色処理は前報[1]と同様である。染色操作を終えた標本は，左体側部について顕微鏡下で初生鱗の発生部位と鱗域を観察した。稚仔魚の外部形状は万能投影器で輪

1976年6月30日受理　南西海区水産研究所業績56号

郭を透写し，鱗の出現範囲は標本の左体側部を光学顕微鏡，位相差顕微鏡下で観察した。また，体側全面に鱗が形成された発育段階以降の標本については鱗の生長を知るため左胸鰭の基部周辺より顕微鏡下で2，3枚採鱗し，スライドグラス上にカバーグラスとバルサムで封入してプレパラート標本を作製した。プレパラート標本は万能投影器を用いて鱗の長さ，形状および鱗紋を形成する各構造の数量変化の観察に供した。鱗の長さは，国行ら（1975）[3] の測定方法に準じた。鱗の中心が不明瞭な時期は最内部の隆起線のほぼ中心点から計測した。鱗長測定には光電式マイクロメーター（日本光学製）を用いた。

結　　果

1.　初生鱗の発生

鱗が体側に出現し始める時期から体側全面を覆うまでの鱗域の拡張経過は Fig. 1. に示したように8段階に分けることができる。

Stage A：初生鱗は，軀幹後方，肛門部直上の側線上に出現する。鱗列は1列で，露出部後縁にはすでに1本の小棘を有する。

Stage B：鱗域は前後両方向へと広がり，前端は背鰭基部前方下，後端は臀鰭基部前方上の側線上に達する。

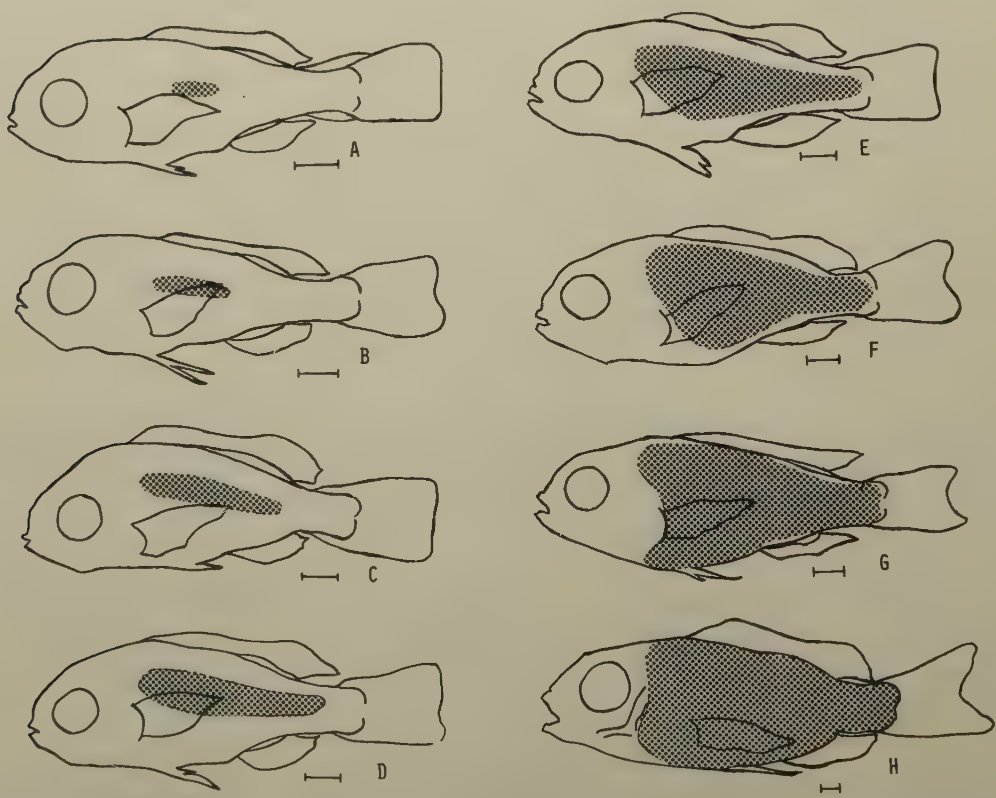


Fig. 1. Diagrammatic illustrations showing the sequence of squamation in red sea bream.　A–H are the arbitrary defined stages of development; see text for details. Scales denote 1 mm.

Stage C：鱗列は２～３列となり，鱗域後端は尾柄部前方に達する。

Stage D：鱗列は３～４列，鱗域後端は尾柄中央部に達する。

Stage E：腹腔部に鱗域は広がり，体側の約½を覆うようになる。

Stage F：初生鱗の出現していない部分は体側の周縁部と胸鰭基部周辺を残すだけとなる。

Stage G：背鰭，臀鰭および尾鰭基部を残し，体側のほぼ全面を覆う。

Stage H：体側全面が初生鱗で覆われる。

初生鱗の発生と稚魚の 成長との関係を 調べるため上記の 各発生段階に 達する体長範囲を Fig. 2 に示した。初生鱗の出現していない最大個体は体長約9.0㎜であり，出現の最も早い個体は体長約7.5㎜である。それぞれの鱗の発生は，大幅な発育差を伴ないながら進行し，体側全面に鱗が出現する最小個体は体長約10㎜で，遅くとも体長15㎜以降の稚魚は初生鱗の形成を完了していることがうかがえる。

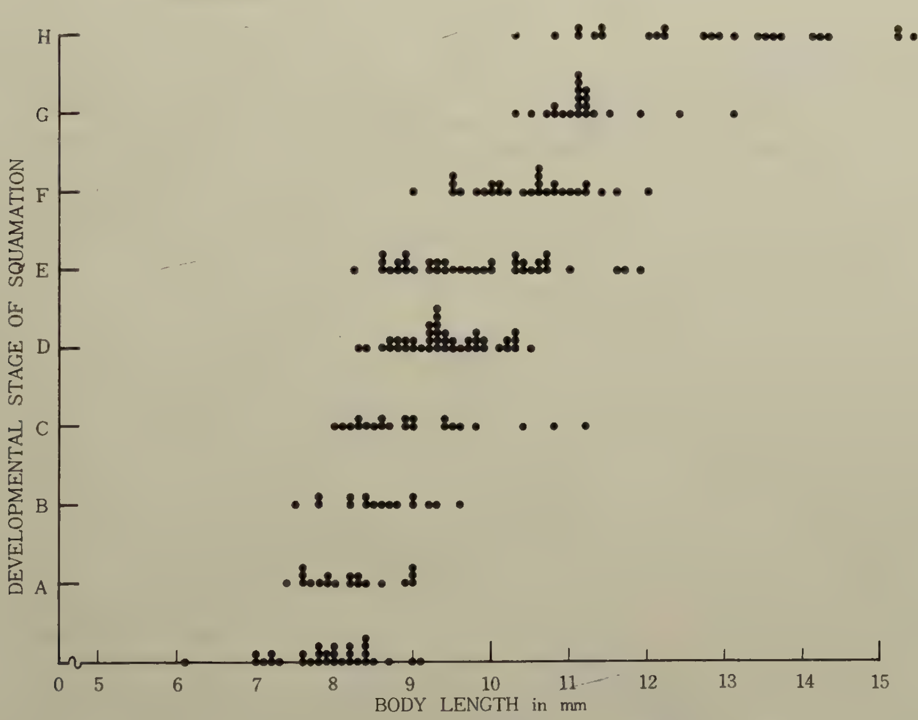


Fig. 2. The relationship between the stages of squamation shown in Fig.1 and body length.

2.　鱗の生長と諸構造の発達

鱗の形状変化，体長範囲ほぼ10～50㎜の個体の胸鰭基部周辺から採取した鱗の周縁形状を Fig. 3 に示した。同図のＧは成魚（４年魚）の鱗の周縁形状を示す。

形成初期の鱗の周縁は，円鱗に類似した台形を呈する（A，体長約10㎜）が，鱗長約0.6㎜（C，体長約30㎜）に達すると，鱗は両隅が直角となり，被覆部周縁の隆起や露出部後縁の小棘が明瞭となって，形態的に櫛鱗としての特徴を示すようになる。魚体の成長に伴ない小棘数，隆起線数は増加するが鱗全体の形状はほとんど変化しない。

鱗長と体長との関係，初生鱗の形成がほぼ完了した段階から体長約50㎜に達するまでの鱗長（R）と体長

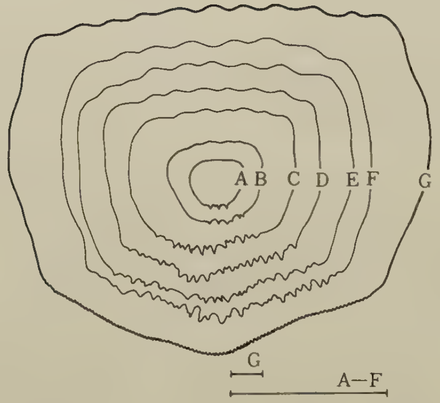


Fig. 3. Relative size and outlines of the scale of red sea bream at successive developmental stages. All but the largest figure which shows those of the adult are drawn to the scale. Scales denote 1mm.

（ＢＬ）の関係を Fig. 4 に示した。鱗長は採取した標本の平均値を用いた。回帰直線式 Ｒ＝－0.19＋0.029ＢＬ（Ｒを独立変数とした場合，ＢＬ＝6.93＋33.019Ｒ）が得られ，相関係数は0.986である。分散も小さく，鱗の形成初期における鱗長と稚魚の成長の相関性はきわめて高い。

鱗の各構造の発達，稚魚の成長に伴なう小棘，隆起線，溝条などの鱗紋要素の数の増加を Fig. 5 に示した。溝条は，中心から縁辺まで明瞭に認められる場合に限り計数した。いずれの鱗紋要素も体長の増大に伴ない増加するが，増加しはじめるのは体長ほぼ10.0㎜からである。すなわち，それぞれの鱗紋要素は初生鱗が体側全面を覆う時期から形成が認められる。ただし隆起線は小棘数よりも早く増加する。また，溝条数は体長約30㎜頃から一定になる傾向を示し，この時期が鱗の初期

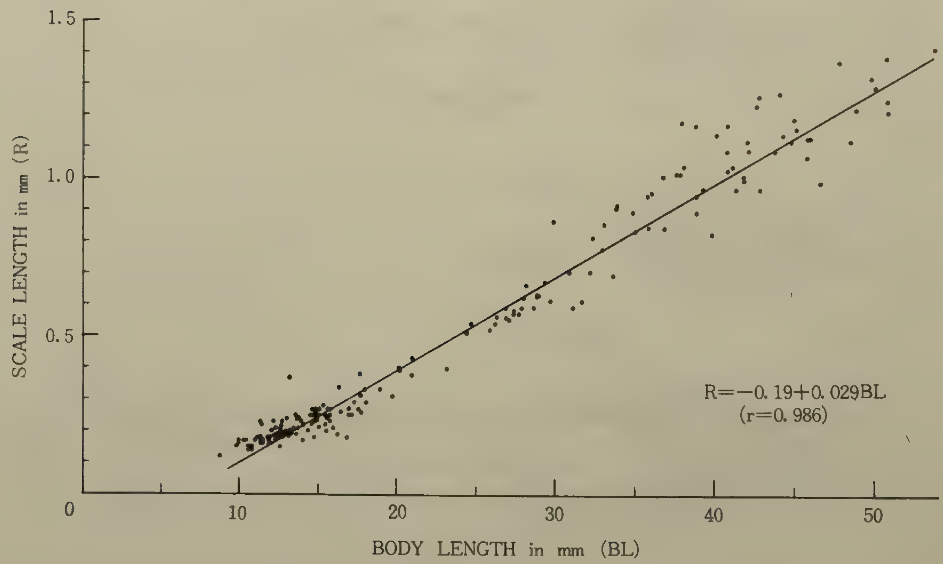


Fig. 4. The relationship between scale length (R) and body length (BL) in the juvenile red sea bream.

生長において新しい発達段階にあることを示している。

考　　察

初生鱗の形成は今回の観察からすると，体長10㎜～15㎜の間に完了するといえる。鰭の分化との関連でみると，この時期は軟条の分節が完了し，分枝が開始される時期に相当し，鰭の基本的形態が整った後，鱗の

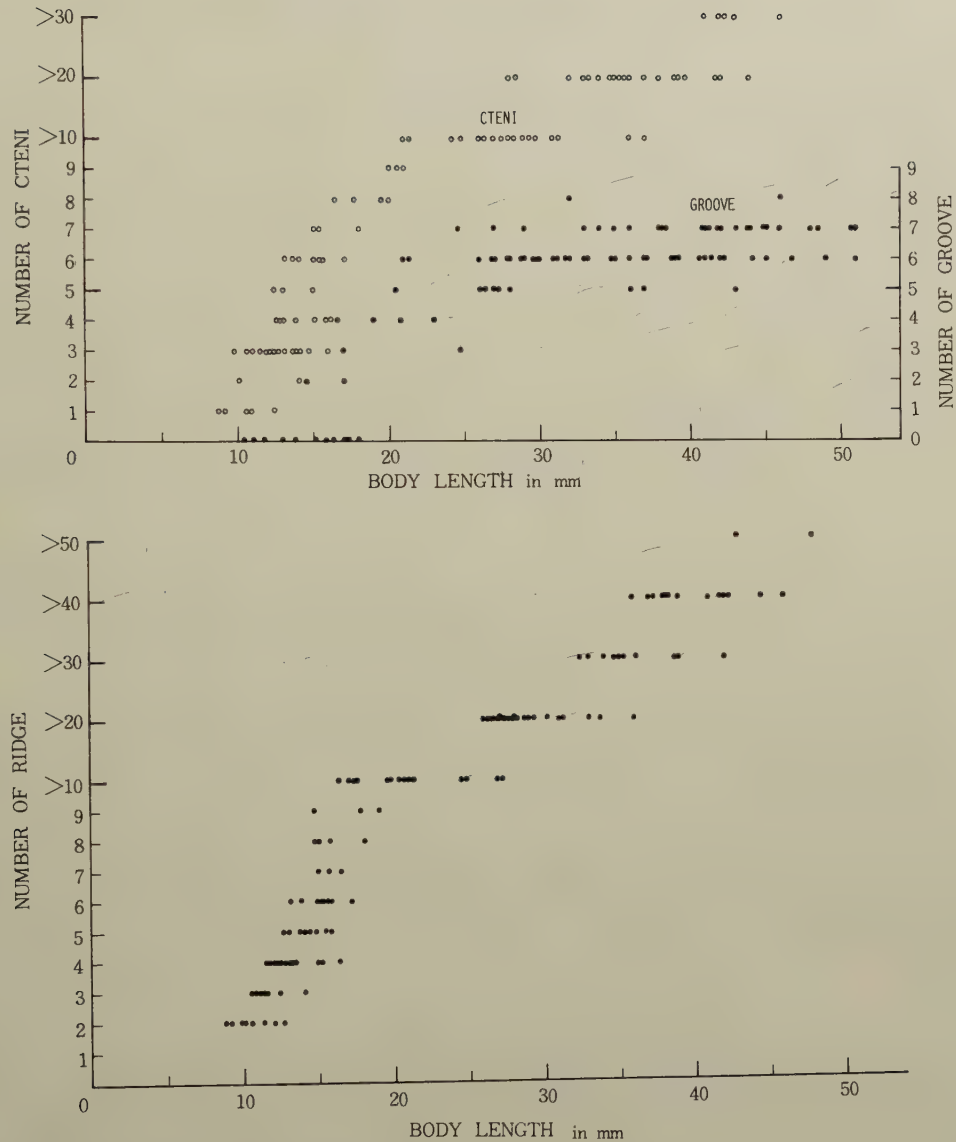


Fig. 5. Increase in the number of ctenii, grooves and ridges on the scale with increase in body length in the juvenile red sea bream.

発生が始まっている。天然の稚魚では全長13.5mmで体側全面に鱗が出現しているのが観察され，[2] 初生鱗の形成完了時は人工飼育した場合とほぼ一致すると考えられる。

形成完了時の鱗はまだ櫛鱗としての形態的特徴を示していないことから判断すれば，機能的にもまだ不十分な状態と考えられる。相川（1949）[4] によると鱗が薄くて屈曲性を有する魚種は放射線（溝条）が存在せ

す，マダイのように厚くて堅い鱗は放射線がよく発達し，鱗を機械的衝撃から保護するという。溝条の機能について，近藤（1957）[5]はカタクチイワシの観察から，体側への附着と体の屈曲に対する柔軟性を与えるためであるとしている。

鱗相の変化については高田（1965）[6]がマボラで観察し，後期稚魚が汽水域あるいは淡水域に入って成長しはじめると，鱗相は成魚型に変化し，生態的変化も同時に起こることを指摘している。江草（1950）[7]も同魚種で成長段階と鱗相変化がよく一致することを認めている。マダイの場合，鱗紋要素である溝条，隆起線，中心，小棘および鱗の外部形状が発達してくるのは体長30㎜以上で，この時期には鰭が形態的に完成すると共に鱗もほぼ成魚に近い発達段階にあることからそれぞれの器官が相関連しながら発達し，游泳行動さらにはマダイの生活様式とくに生息場所に影響を及ぼすのではないかと考えられる。

体長30㎜以上の鱗は成魚の形状とほぼ同形で，魚体の成長に伴ない鱗長を増すが，本実験で得た体長（ＢＬ）と鱗長との回帰直線式ＢＬ＝6.93＋33.019Ｒと国行ら（1975）[3]が尾叉長90㎜以上の群で得た式ＦＬ＝－33.93＋48.54Ｒを比較すると，ＢＬ（体長）およびＦＬ（尾叉長）の差を考慮しても後者の場合が鱗の生長が良好で，体長50㎜から90㎜前後の間で鱗の生長速度が変化する時期があることを示唆している。

初生鱗の形成を終える体長15㎜頃と櫛鱗としての特徴を示す体長30㎜頃がマダイ鱗の発達における形態的移行期と考えられ，幼期の行動様式と深く関連しているものと思われる。

摘　　要

マダイの初生鱗の発生と生長を明らかにするため，人工飼育した稚仔魚をアリザリン染色し，体側における鱗域の発生部位と拡張段階および稚仔魚の成長に伴なう鱗の発達を観察し，次の結果を得た。

1.　初生鱗は体長7.5㎜～8.0㎜の稚魚の軀幹後部，肛門部直上の側線上に出現し，稚仔魚の成長にしたがい，鱗域を体側の前後上下の各方向に拡げ，体長15㎜頃に体側全面を覆う。

2.　体長10㎜から50㎜までの幼稚魚における鱗長（Ｒ）と魚体長（ＢＬ）の関係は，Ｒ＝－0.19＋0.029ＢＬの回帰直線式で表わされ，相関係数は0.986であった。

3.　鱗の外部形状は生長するにしたがい変化し，櫛鱗としての形態的特徴を現わすのは体長約30㎜頃である。

4.　鱗紋を形成する隆起線，溝条は，幼稚魚の成長に伴ない数的に増加する。

5.　初生鱗の形成を完了する体長15㎜頃と櫛鱗としての形態的特徴を現わす体長約30㎜頃にマダイ幼稚魚の行動様式に変化が生ずると考えられる。

文　　献

1）福原　修，1976：マダイ稚仔魚の形態学的研究－Ⅰ，鰭の形成について．本誌(9)，1－11．

2）庄島洋一，1958：マダイの幼期．日本産魚類の稚魚期の研究，第1集，九州大学農学部水産学第二教室，71－72．

3）国行一正・矢野　実・川西正衛，1975：広島県中部海域におけるマダイ未成魚の年令と成長．本誌(8)，81－100．

4）相川広秋，1949：水産資源学総論，ⅳ＋545pp.，産業図書株式会社．

5）近藤恵一，1957：カタクチイワシの鱗について－Ⅰ，体の部分による鱗相の相異および溝条の機能．東海水研報(17)，15－25．

6）高田継男，1965：マボラの後期稚魚にみられる鱗の特性について．魚雑13（1－3），52－58．

7）江草周三，1950：マボラの後期稚魚期に於ける食性に関する二三．日水誌15(11)，715－720．

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (9) 19~31 (1976)

Studies on the oil pollution of sediments in the Seto Inland Sea

Hisashi YAMADA and Mitsu KAYAMA*

Oils are supplied from various sources to the ocean. Then released oils are spread on the surface and degenerated by evaporation or solubilization, and the residual oil adheres to the detritus or small clay particles suspending in the sea, being accumulated to the bottom sediments afterwards.

The oily substances are mainly supplied to the ocean through two pathways. The first one is the decomposition of marine organisms and the second one is the influx from the land or ships. It is estimated by NISHIMURA [1] that the oil influx to the Seto Inland Sea amounts approximately 13300-31600 ton per year. The discharge from the land and industry occupies about 57-69% of total released oil, the bilge from ships occupies 10-23%, spilling from the oil transport occupies 2-5% and the accident of tanker occupies 4-32%. Therefore, it is obvious that most of the oils are discharged from the land and industry.

The lipids extracted from the bottom sediments contain biogenetic components.[2] Therefore, in order to estimate whether the marine environment is polluted by oil or not, it is very significant to separate the biogenetic components from the petroleum components. The intent of this paper is to estimate the degree of pollution of bottom sediments in the Seto Inland Sea by analyzing the composition of hydrocarbons extracted from mud.

The data utilized in this manuscript were acquired in the surveys on the influence of the discharged oil to the marine ecosystem and on the influence of the reclamation to fisheries.

Materials and Methods

The area investigated: The Seto Inland Sea is an area surrounded by the western parts of Honshu, Shikoku and Kyushu Islands. The distance of the Seto Inland Sea from the east to west is about 445 Km and from the north to the south is 18-55 Km, and the area is about 17107 Km^2. There are about 3000 islands, and the Seto Inland Sea is divided into several regions by channels. In this study, the surveys were carried out in the eastern part of the Seto Inland Sea and in Beppu Bay. The industries are developed along the coast of Seto Inland Sea, big ports are located at Kobe and Osaka and many steamers navigate

Received: July 23, 1976. Contribution NO. 57 from the Nansei Regional Fisheries Research Laboratory.
* Department of Fisheries, Faculty of Fisheries and Animal Husbandry, Hiroshima Universty, Fukuyama.

to the area.

Survey: The surveys were carried out during 25th, Jan. - 3rd, Feb., 1975 in the eastern part of the Seto Inland Sea and during 13th - 14th, Mar., 1975, 4th - 7th, July, 1975, 8th - 11th, Oct., 1975, 24th - 25th, Feb., 1976 in Harima Nada. The survey was also done during 27th - 30th, Nov., 1975 in Beppu Bay. The sediments were collected with Eckman - Berge dredge and stored at - 20°C until the laboratory work.

Analytical procedure: Lipids were extracted from sediments with chloroform-methanol (1:1, v/v), then the hydrocarbon fraction was obtained by a silicic acid column chromatography[3], and analyzed by gas liquid chromatography.

Gas liquid chromatography: A Hitachi 073 gas chromatograph was used. The column was 2m in length, 3mm in internal diameter, packed with 1 % Dexil-300 on Celite 545 (80-100 mesh, acid washed and siliconized). The oven temperature was programmed from 100°C to 340°C at a rate of 5°C per minute. The injector and detector were at 350°C. The carrier gas (N_2) flow rate was 60ml/min. The detector was a flame ionization detector. The hydrocarbons were identified by the comparison of the retention time of authentic hydrocarbons and of residual fuel oil (C grade), and by the internal standard methoh.

Ignition loss (Crude organic matter): Ignition loss is determined by burning the dry mud at 750°C until the weight become constant.

Results

The distribution of lipid content is shown in Fig. 1 and 2. The area where

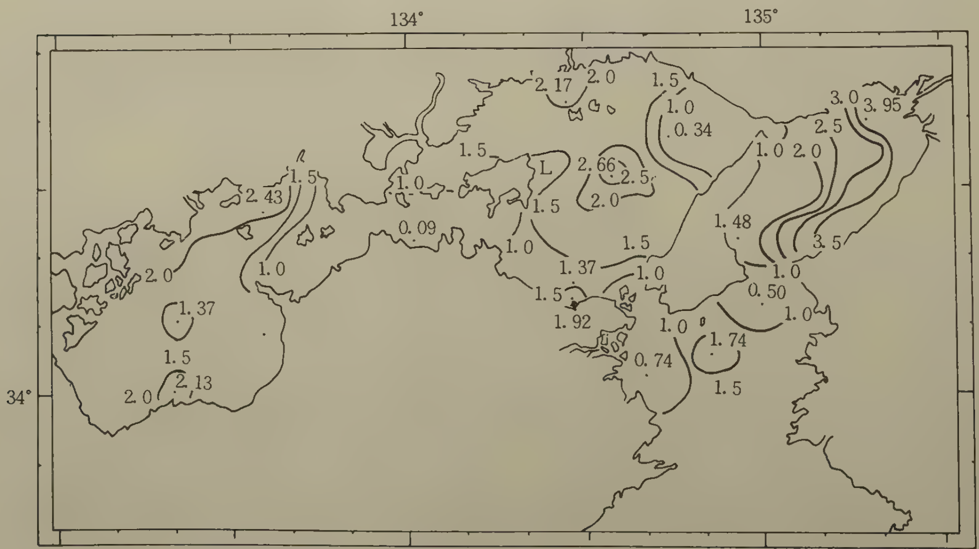


Fig. 1. The distribution of lipid content in the eastern part of the Seto Inland Sea. (mg/g dry mud) (Jan., 1975.)

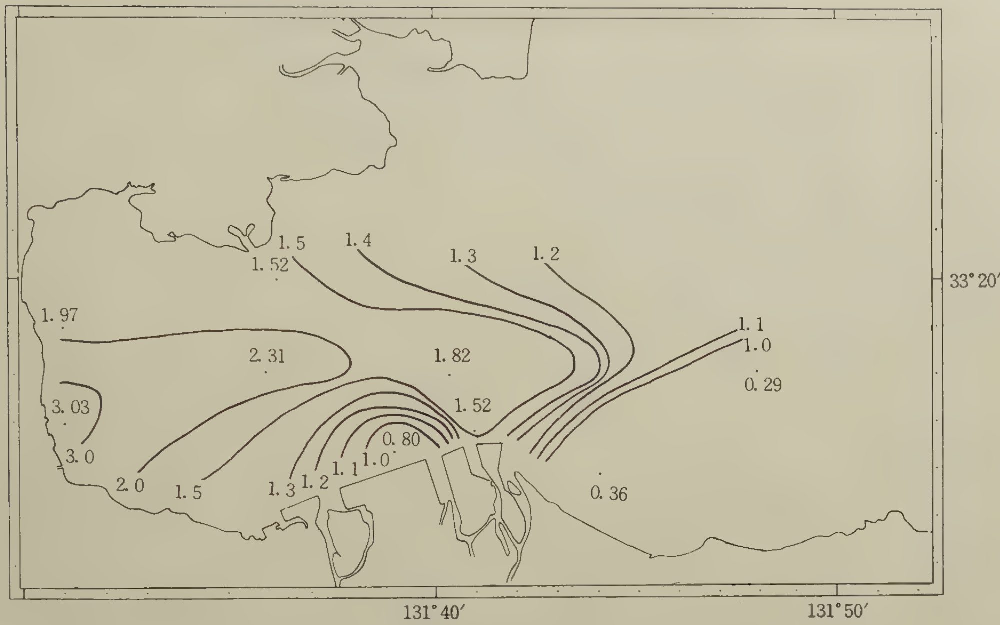
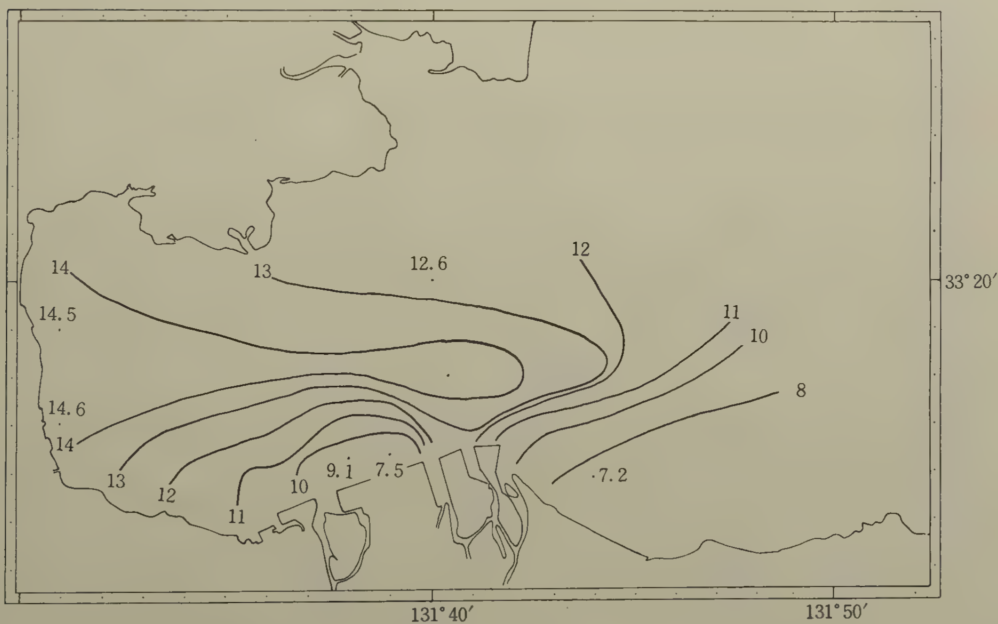


Fig. 2. The distribution of lipid content in Beppu Bay.
(mg/g dry mud) (Nov., 1975.)



Fig, 3. The distribution of the ignition loss in Beppu Bay.
(%) (Nov., 1975.)

the lipid content is over 2 mg/g dry mud are located at Osaka Bay, the northern and central parts of Harima Nada, the northern part of Bingo Nada and also the central part of Beppu Bay. As seen in Fig. 3 on the distribution of the ignition loss at Beppu Bay, the high value (14.8%) is obtained at the central part of this area, and the distribution patterns are coincident with those of lipid and hydrocarbon content in Fig. 4.

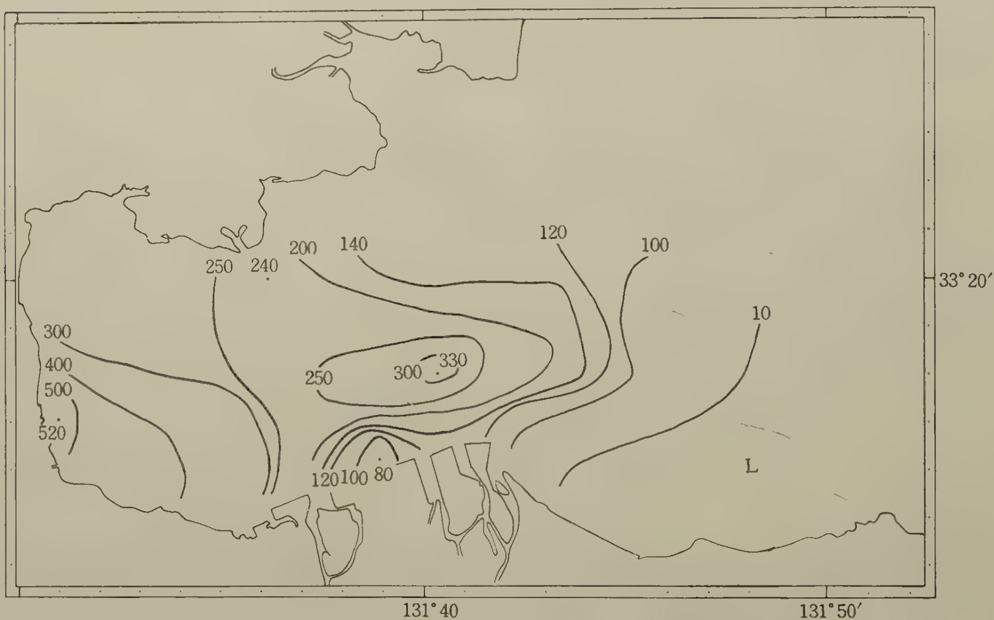


Fig. 4. The distribution of hydrocarbon content in Beppu Bay. (ppm) (Nov., 1975.)

The gas chromatogram of authentic hydrocarbons is shown in Fig. 5, and that of the residual fuel oil is shown in Fig. 6. The occurrence of n-alkanes ranging from n-hexadecane to n-pentatetracontane was comfirmed in the residual fuel oil. Under gas chromatographic conditions previously described, the peak of n-heptadecane and pristane, and of n-octacosane and squalene were not separated completely.

The gas chromatogram of hydrocarbons extracted from mud is shown in Fig. 7. The presence of pristane, squalene and n-alkanes was comfirmed as reported previously.[4] The long chain n-alkanes (n-C_{36} to n-C_{40}) were detected at the

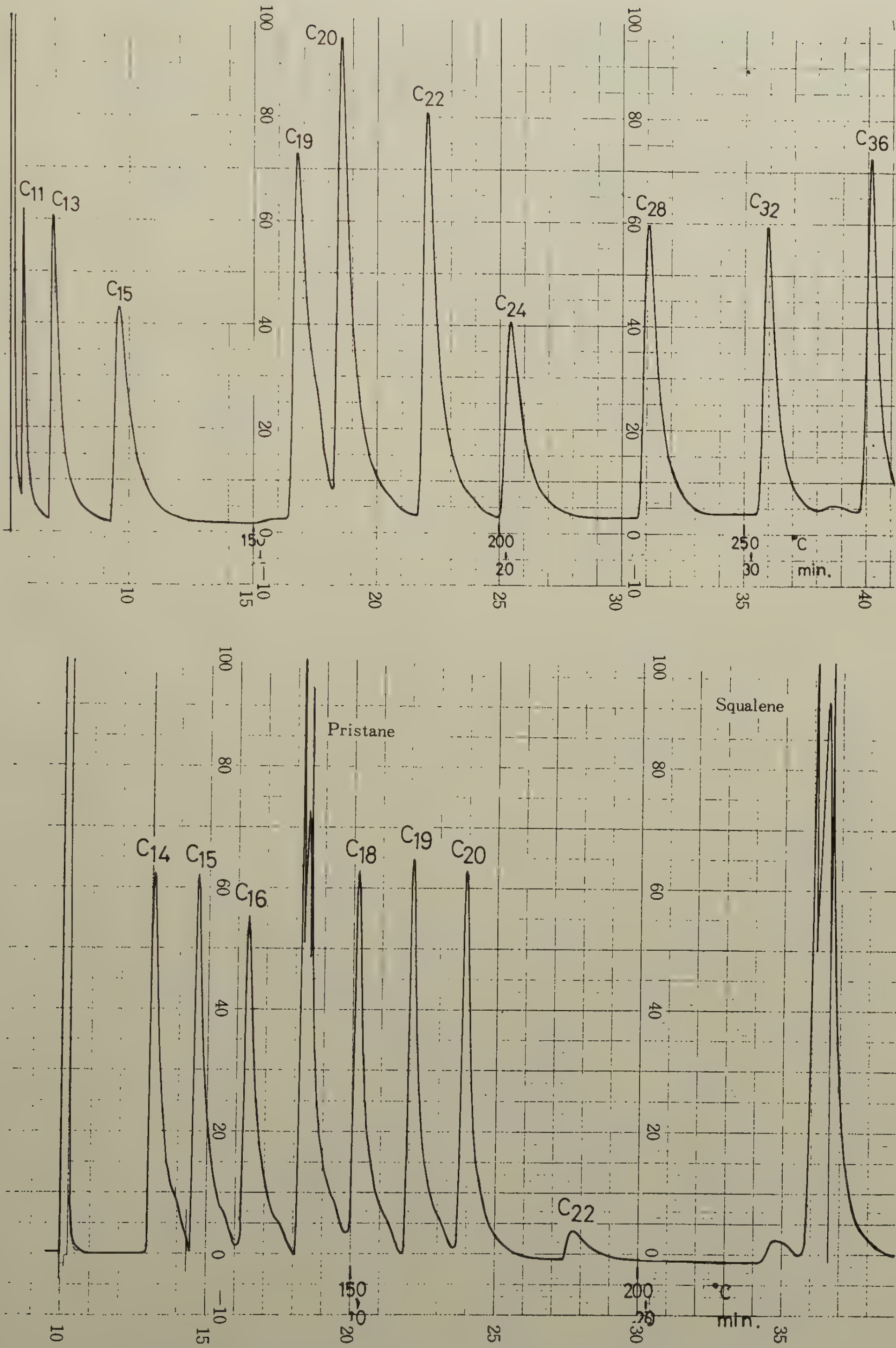


Fig. 5. The gas chromatogram of the authentic hydrocarbons.

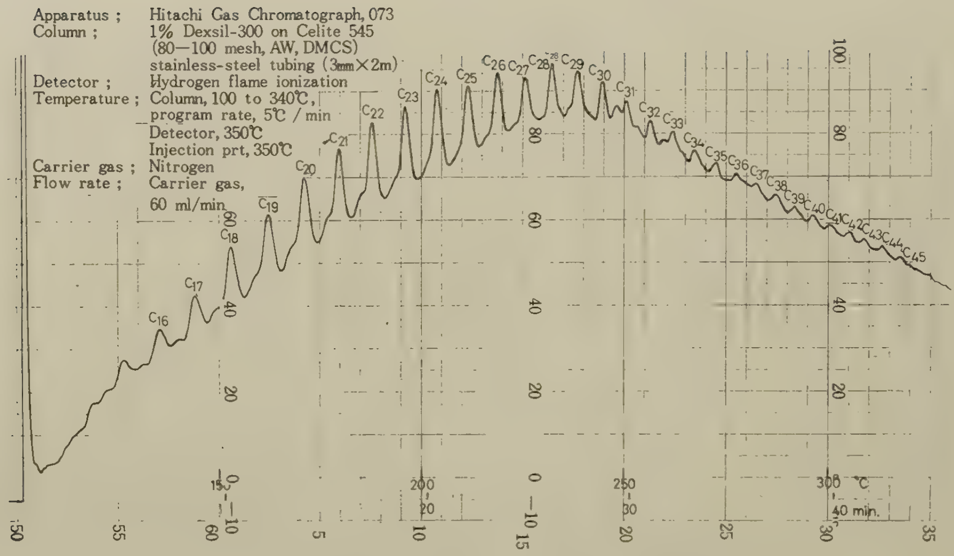


Fig. 6. The gas chromatogram of the residual fuel oil.

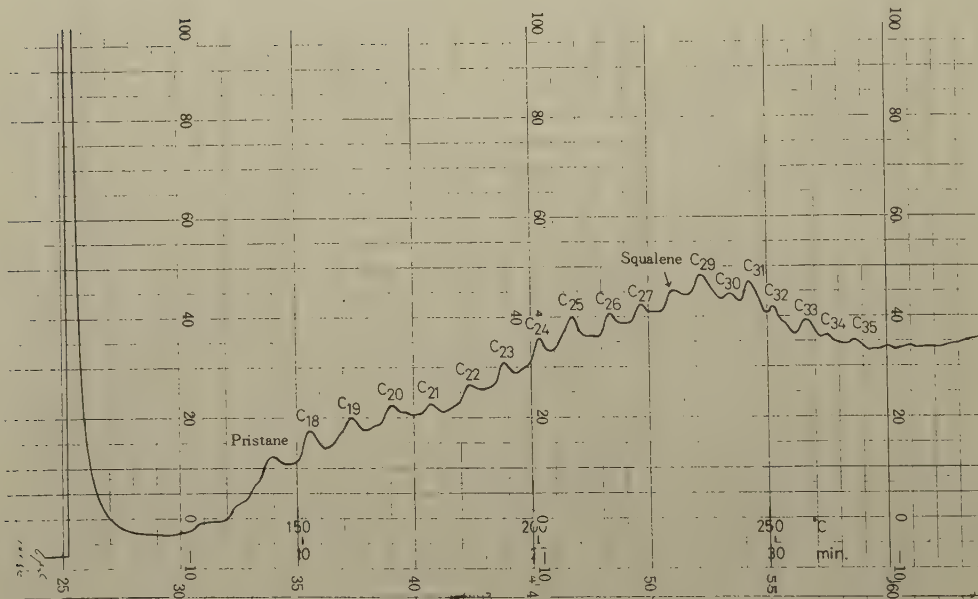


Fig. 7. The gas chromatogram of hydrocarbons extracted from mud.

southern region of Harima Nada. However, n-C_{29}, n-C_{31} and n-C_{32} were major components.

The distribution of n-alkanes/pristane and squalene ratio is shown in Fig. 8, 9

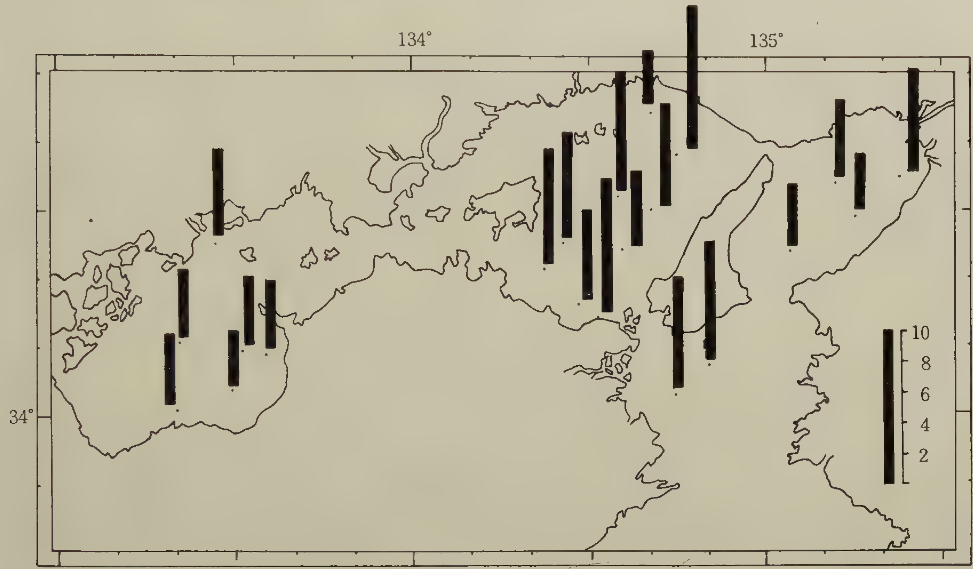


Fig. 8. The distribution of n-alkanes/pristane and squalene ratio in the eastern part of the Seto Inland Sea. (Jan., 1975.)



Fig. 9. The distribution of n-alkanes/pristane and squalene ratio in Beppu Bay. (Nov., 1975.)

and 10. The value of this ratio was large at Harima Nada, Kii Suido, the southern area of Beppu Bay and the northern coast of Osaka Bay, on the contrary was small at Hiuchi Nada, the central part of Osaka Bay and the northern area of Beppu Bay.

At the southern coast of Harima Nada, the value of this ratio was larger at the shore than at the offshore at the first time (Jan., 1975 – July, 1975), and then

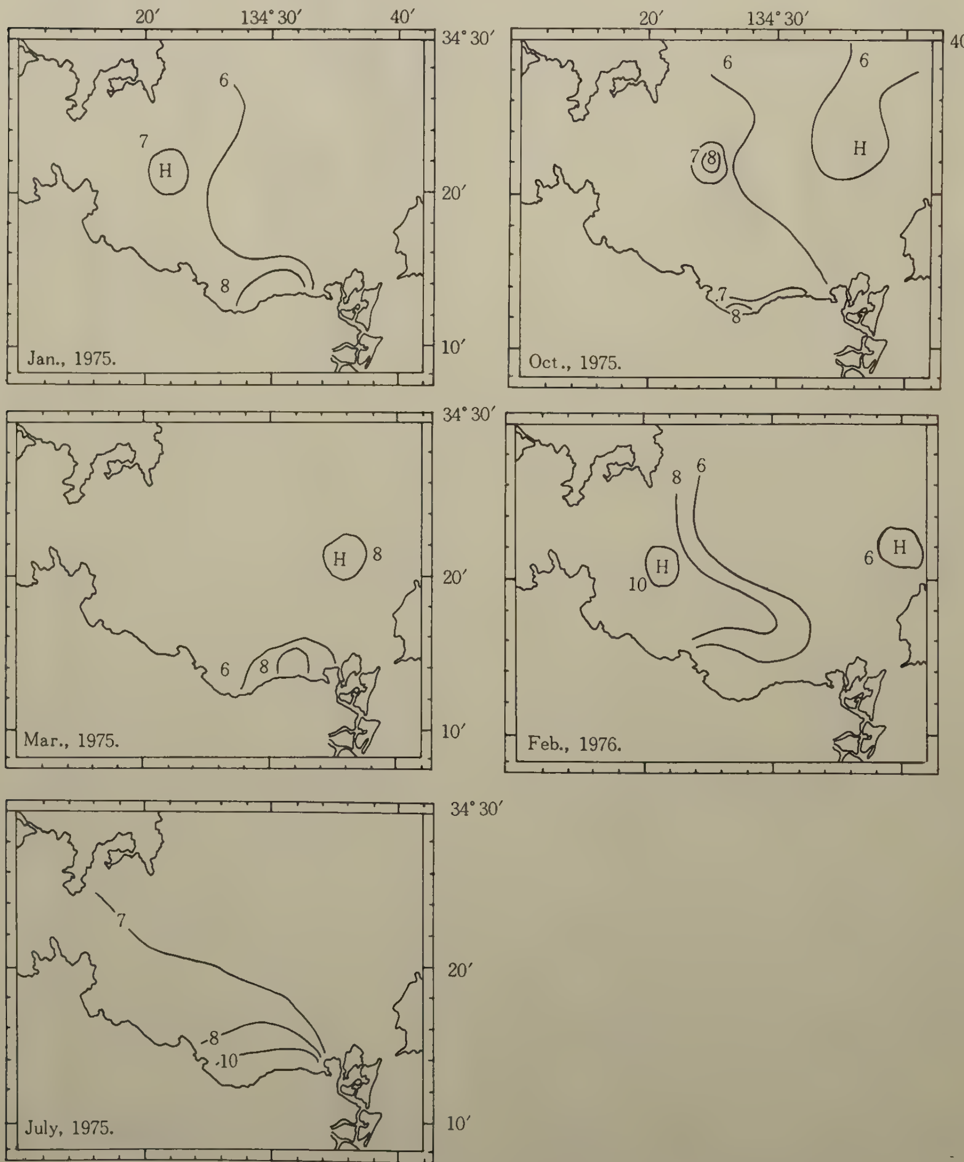


Fig. 10. The distribution of n-alkanes/pristane and squalene ratio at the southern part of Harima Nada.

the area where the ratio was large become narrow gradually, the region exhibiting the large value of this ratio has transfered from the coast to the offshore at the last time (Feb., 1976).

Discussion

The distribution of lipid content is very similar with that of the ignition loss. Since it is thought that the area where the ignition loss is large is the stagnant region, the suspensoids or particles adhering oil are tend to accumulated at this area. The relationship between lipid content and the ignition loss was observed in the Seto Inland Sea as shown in Fig. 11. From this result, it is obvious that

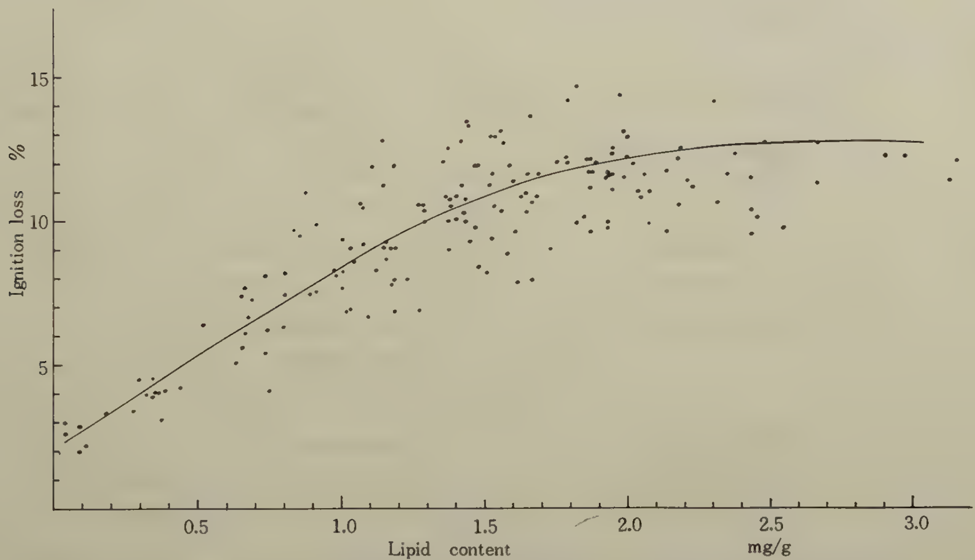


Fig. 11. The relaitonship between the ignition loss and the lipid content.

the lipid content is paralleled with the ignition loss at the area where the lipid content was below 1.5 mg/g, but in the case where the lipid content was over 2.0 mg/g, the variation of lipid content is independent of the ignition loss. Considering that the ignition loss is the amount of the organic compounds in sediments, and that the organic compounds in sediments are mainly derived from endogenous compounds (mainly synthesized by marine organisms) and exogenous compounds (supplied to the ocean as pollutants), it is thought that the area where lipid content was over 2.0 mg/g is polluted by oil. Because the endogenous organic compounds has a certain proportion of lipids.

Many researchers suggested that pristane and squalene in the ocean are biogenetic hydrocarbons. The ocurrence of pristane was reported by INOUE *et al*[5] in salmon, trout and carp, by SHINMA, Y., and H. SHIMMA[6] and KAYAMA

et al[7] in shark liver oil and by SANO[8] in the sperm whale blubber oil. Squalene is also a major constituent of hydrocarbons in organisms[7]. The hydrocarbons of marine benthic algae was studied by YOUNGBLOOD *et al*[9], and they reported that n-pentadecane, n-heptadecane and n-heneicosahexaene were predominant components. Moreover, since the hydrocarbons of marine phytoplankton contained n-heneicosahexaene, n-heneicosane, n-heptadecane and n-pentadecane (summarized in Table 1 from the article by BIUMER *et al*[10]), those are also biogenetic hydrocarbons in the marine environment. Under the gas chromatographic condition

Table 1. Hydrocarbons of the marine phytoplankton. (after BIUMER, M., R.R.L. GUILLARD, and T. CHASE.[10])

Class	Major component
Bacillariophyceae	n – Heneicosahexaene
exception *Rhizosolenia setigera*	n – Heneicosahexaene n – Heneicosane n – Heptadecane
Dinophyceae Cryptophyceae Haptophyceae	n – Heneicosahexaene
Euglenophyceae	n – Heneicosahexaene n – Heptadecane n – Pentadecane
Rhodophyceae Xanthophyceae Chlorophyceae	n – Heptadecane n – Pentadecane

used, the peak of pristane and squalene contains n-heptadecane and n-octacosane respectively, and n-heneicosahexaene is not identified from the gas chromatogram of sediments. Nevertheless, n-alkanes/pristane and squalene ratio exhibit the degree of oil pollution of sediments. The n-alkane/pristane and squalene ratio was small at the south - eastern part of Hiuchi Nada[4], and the content of phaeopigment in mud was large at this region as reported by SHAZUKI *et al*[12] (Fig. 12.). As the distribution of n-alkane/pristane and squalene ratio is related with that of phaeopigment derived from phytoplankton, it is supposed that this ratio explain the characteristic of lipids extracted from mud.

As shown in Fig. 8 and 9, this ratio was small at the central part of Hiuchi Nada and Osaka Bay and at the northern part of Beppu Bay. Therefore, it is considered that the biogenetic compounds are accumulated at these regions, or that the lipids of mud are influenced by high productivity at these regions. On the contrary, it is thought that the large proportion of lipids extracted from mud

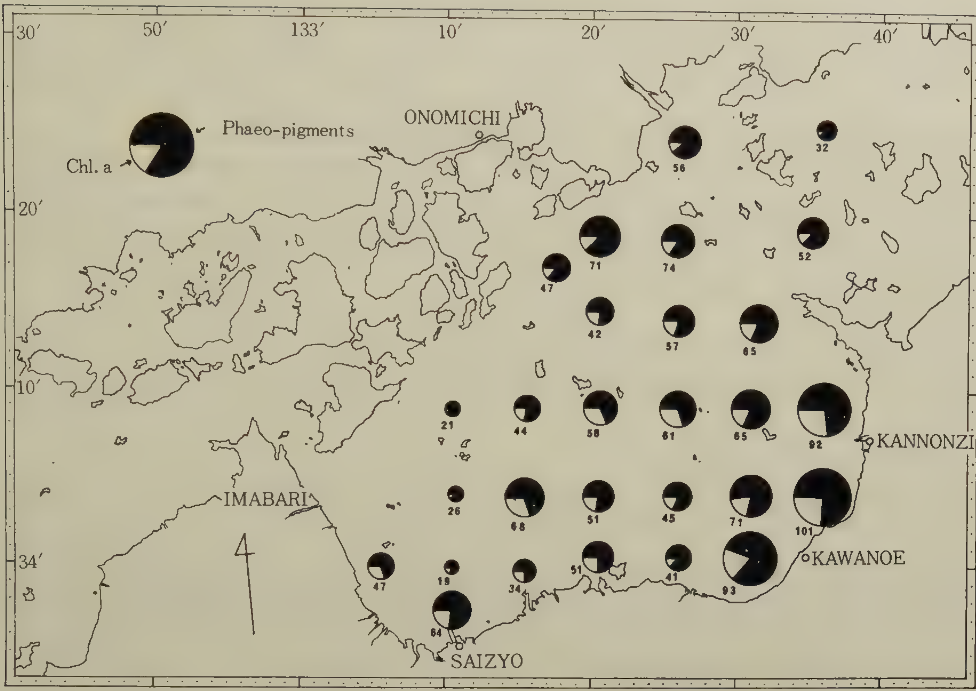


Fig. 12. The distribution of phaeopigments content in mud of Hiuchi Nada. (mg/g dry mud)
(Feb., 1975.) (after by SHAZUKI K. and K. TAKESUE, 12))

derives from petroleum oil at the coastal area of the Seto Inland Sea. In Beppu Bay the area high in this ratio was located at the southern coast. As many industries (e.g., steel work, oil refinery and petrochemical enterprises) are located at this coast, it is supposed that the discharged water from these industries may be one of the sources of oil pollution in Beppu Bay. Therefore, in order to estimate the oil pollution of mud, it is insufficient to determine the amount of lipids alone.

When the oil spill from a tank occured at Mizushima on 18th, Dec., 1974, 7500–9500 Kl of residual fuel oil was spread to the Seto Inland Sea, and a part of spilled oil was stranded also at the southern coast of Harima Nada. The distribution of n-alkanes/pristane and squalene ratio has been observed from Jan., 1975 to Feb., 1976. At the first time, this ratio was large at the coast, and then the higher ratio area was becoming narrower gradually, and the high value of this ratio was observed as far as 14 Km off the shore. It is surmised that the stranded oil was transferred from the shore to offshore by current, and perhaps accumulated to the sediments of the stagnant area.

Summary

1. The relationship between the lipid content and ignition loss is recognized in the Seto Inland Sea. It is obvious that the lipids as well as other organic compounds are accumulated to the sediments of stagnant area.

2. The n-alkanes/pristane and squalene ratio explains the contribution of petroleum oil in sediments. Observing this ratio, it is supposed that the lipids extracted from mud at the northern part of Osaka Bay, Harima Nada, Kii Suido and the southern part of Beppu Bay contain larger proportion of petroleum hydrocarbons than other areas.

3. From the results of n-alkanes/pristane and squalene ratio, it is surmised that the oil stranded at the southern coast of Harima Nada is moving to the sediments of the stagnant area.

Acknowledgements

Grateful acknowledgements are made to Dr. Akio MURAKAMI, Oceanographic Research Division of Nansei Regional Fisheries Research Laboratory, for his encouragement to prepare the manuscript. We would like to thank the crew of research vessel "Shirafuji Maru".

References

1) NISHIMURA, H., 1973: Studies on the pollution in the Seto Inland Sea V. The pollution by oil. KAGAKU, 43, 171–179. (in Japanese)

2) KAYAMA, M., and H. YAMADA, 1975 : Studies on the lipids of coastal waters I. General composition of lipids in sea water, sediments and suspensoids. J. FAC. FISH. ANIM. HUSB. HIROSHIMA UNIV., 14, 23–35.

3) KAYAMA, M., and Y. TSUCHIYA, 1964 : Incorporaton of C^{14}-labeled acetate into lipid classes of liver oil by intact leopard shark. TOHOKU JOURNAL of AGRICULTURAL RESEARCH, 15, 259–267.

4) YAMADA, H., and M. KAYAMA, 1975 : Studies on the lipids of coastal waters II. Hydrocarbons of sediments in Hiuchi Nada. J. FAC. FISH. ANIM. HUSB. HIROSHIMA UNIV., 14, 37–47.

5) INOUE, N., Y. HOSOKAWA, and M. AKIBA, 1973 : Pristane in salmon muscle lipid. BULL. FAC. FISH. HOKKAIDO UNIV., 23, 209–214. (in Japanese)

6) SHINMA, Y., and H. SHINMA, 1966 : On liver oil of deep - sea shark of Suruga Say. SULL. TOKAI REG. FISH. RES. LAB., 48, 53–61.

7) KAYAMA, M., Y. TSUCHIYA, and J. C. NEVENZEL. 1969 : The hydrocarbons of shark liver oil. BULL. JAPAN. SOC. SCI. FISH., 35, 653–664.

8) SANO, Y., 1968 : Studies on the minor constituents of whale oils I. Identification of 2, 6, 10, 14 – tetramethylpentadecane and 2, 6, 10, 14 – tetramethy 1 – 2 – pentadecene in Sperm Blubber oil. BULL. JAPAN. SOC. SCI. FISH., 34, 726–733.

9) Youngblood, W. W., M. Blumer, R. R. L. Guillard, and F. Fiore, 1971 : Saturated and unsaturated hydrocabons in marine benthic algae. Marine Biology, 8, 190–201.
10) Blumer, M., R. R. L. Guillard, and T. Chase, 1971 : Hydrocarbons of marine phytoplankton. Marine Biology, 8, 183–189.
11) Clark, Jr.R.C., and M. Blumer, 1967 : Distribution of n-paraffins in marine organisms and sediment. Limnol. Oceanogr., 12, 79–87.
12) Shazuki, K., and K. Takesue, 1975 : Annual Report for the Studies on the Circulation of Pollutants in the Marine Ecosystem. 95–102. (in Japanese)

瀬戸内海，底泥の油汚染に関する研究

山 田 久・鹿 山 光

今日，石油類の流出による海域の汚染は深刻な問題になっている。1975年１月から1976年２月までの６回の調査により得られた瀬戸内海（主として東部海域，別府湾）の底土に含まれる炭化水素を検討した結果を報告する。

１）底泥の強熱減量と炭化水素含量には相関が得られ，油も他の有機化合物同様，停滞域に沈降する。脂質含量が２㎎/ｇ以上の海域では，強熱減量はほぼ一定値を示し，底泥への鉱油の影響が推定される。

２）n―アルカン/(プリスタン＋スクアレン）の比は底泥への鉱油の堆積を示すと考えられる。この比の値は大阪湾北部，播磨灘，紀伊水道，別府湾南部沿岸で大きく，他の海域に比較して鉱油の影響を受けていると考えられる。

３）1974年12月，水島より流出したＣ重油は播磨灘南部海岸に漂着した。n―アルカン/(プリスタン＋スクアレン）比の分布の変化より漂着した油は次第に停滞域へ移動していることが推察される。

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (9) 33～56 (1976)

水中発破の水産生物に及ぼす影響

阪口　清次・福原　修・梅沢　敏・藤谷　超*・小川　輝繁**

The Influence of Underwater Explosion on Fishes

Seiji SAKAGUCHI, Osamu FUKUHARA, Satoshi UMEZAWA,
Masaru FUJIYA* and Terushige OGAWA**

The constructions of bridges across the Seto Inland Sea are planed, and the underwater explosion techniques will be applied for excavation of sea bottom.

The harmful effects of explosion are seriously concerned about fisheries organisms of the construction sites and the surrounding areas.

It is a main purpose for this study to investigate the influences of the explosion to fish anatomically.

Freshwater and marine fishes, common carp, *Cyprinus carpio*, and rock fish, *Sebastiscus marmoratus*, were used to observe the harmful effects on external and internal organs in pilot scale and actual field test, and the symptoms were inspected. The difference of damages due to the fish direction against explosion source was also studied. Consequently, sinus venosus, liver and kidney were damaged excessively among the main visceral organs, and rapture of sinus venosus was the most serious fatal damage. Damages by explosion pressure on ventral side were more serious than those on other sides, and those on caudal side was relatively slight.

These phenomena indicated that difference of fish direction against explosion source should be important in observing the symptoms on the influence to fish.

The peak pressure would be apt to be estimated as the indicator of explosion strength. Different influences on fish, however, were often found out in the case of same pressure. It may be depended upon the difference of wave form and other explosive conditions. It is suggested from the results of this experiment that the energy flux density should be suitable to compare the influences of explosion to fish and more accurate evaluation can be expected with this method.

海中土木工事や港湾構築工事では海底掘削や岩礁破砕の目的で水中発破が行われることが多い。このような場合に，その周辺域の環境や水産生物に対して影響を及ぼすことが懸念される。水中発破にともなって生ずる物理化学的な諸現象についての工学的知見はかなり多く明らかにされている。しかし，水産生物に対する影響解明を目的とする水中発破実験は作業施工のうえでの規制などから，生物研究者側が独自の立場で実施することは容易でないので，多くのばあい発破現場での影響調査の範囲に終始している傾向が強く，それ

1976年８月18日受理　南西海区水産研究所業績58号
＊淡水区水産研究所，Freshwater Fisheries Research Laboratory.
＊＊横浜国立大学，Yokohama National University.

らの現象の水産生物に及ぼす影響の本質的な機構については充分明らかにされていないのが現状である。

最近に至り，本州四国連絡橋公団は本四架橋の基礎工事に水中発破工法を利用するについて，多くの水中発破工法を検討してきた。筆者らは水産資源保護の立場から，水中衝撃波による魚介類の損傷被害調査を実施した。その結果，模型実験水槽内での被爆試験や比較的多くの現地発破試験の際の被爆実験を経て，魚介類に対する被害機構の一端を明らかにすることができたのでここに報告する。

稿を草するにあたり，水中発破問題検討委員会委員長として終始指導をいただいた南西海区水産研究所長，花村宣彦博士ならびに発破実験にさいして水中衝撃波の測定解析について御指導いただいた横浜国立大学教授，福山郁生博士に心から感謝の意を表する。

本試験は水産資源保護協会の水中発破問題検討委員会と連携して行われたものであり，試験実施のうえで有益な助言と協力をいただいた藤村弘毅会長ならびに吉田修二郎参事に深謝する。

I. 水中衝撃波の受圧方向による損傷の差異

水中発破では，水中に棲息している魚は衝撃圧のために，非圧縮性の水の壁との間で瞬間的なはげしい圧力変化を受けて，内部器官は圧迫破裂するような損傷を受ける。このばあい，堅い器官に接している柔かい組織ほど損傷を受け易い傾向がみられることから爆心に対する魚の方向によって，損傷の程度が異なることが予測される。実際の現地発破実験では，自由游泳の状態で供試生物は被爆するので，魚の爆心に対する位置関係は必ずしも同一方向とは限らず，個体による損傷の種類と程度に差異が生ずる要因となり易い。これは発破実験での魚の損傷を比較する場合には，魚の爆心に対する向きを考慮しての資料の整理が必要であることを示唆している。このような考えから，まず，衝撃波の受け方で損傷状態がどのように異なるかを把握するため，淡水魚と海産魚とについて電気雷管を爆源として損傷試験を実施した。

材料および方法

淡水魚については養成した２歳コイ *Cyprinus carpio* を用い，1974年７月15日から17日まで東京大学工学部安全工学実験場内の模型実験水槽（５m×３m×3.5m）を使用し，海産魚についてはカサゴ *Sebastiscus marmoratus* を材料として1975年２月17日から23日まで，南西海区水産研究所の屋外コンクリート水槽（４m×４m×２m）を使用して試験を実施した。実験魚は改良した真珠養殖用の六段籠を用いて，爆心に対して，腹部，腹側部，頭部，尾部が向くように並べて設置した。その際に，必要に応じてＭＳ−222で麻酔し，ガーゼで作った袋に軽く包んで安定させた。爆源には電気雷管を用い，水中での宙吊り状態で爆発させた。爆発後，供試魚はただちに籠から取り出し小型の水槽に入れて被爆による生死を判別し，即死以外の魚については游泳状態を観察した。観察を終えた魚は外見上の損傷状態を調べたうえで解剖して内部諸器官の損傷程度を観察した。

圧力測定は，横浜国立大学安全工学科の測定グループによって実施された。圧力測定方法の系統は Fig. 1 に示すとおりである。ピックアップは圧電変換素子を用いたトルマリンゲージを使用した。これは電気石の圧電効果を利用したものであり，この電気信号をインピーダンス変換増幅器を通してトランジェントレコー

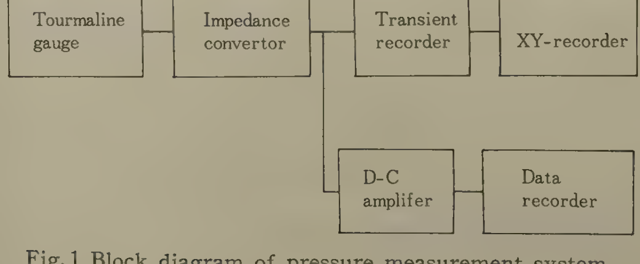


Fig. 1 Block diagram of pressure measurement system.

ダーで測定した。トランジェントレコーダーは電気信号を記憶するメモリー装置を内蔵し，これによって測定信号を記憶させ，記憶された信号はX—Yレコーダーで再生させた。また，これと並行して，データーレコーダーに信号を記録しておき，トランジェントレコーダーで記憶されていない部分の圧力波のチェックなどを行った。

実験結果

1. 淡水魚のコイによる実験

被爆後の取りあげ時に即死と判定した魚は，すべて水槽の底に横臥し(斃死)，極度の痙攣状態のものは横転し游泳不可能であったが(極度の損傷)，軽度のものはしばらくの観察の間に游泳しはじめるものが多かった（軽度の損傷及び生存)。最大衝撃圧37.6kg/cm^{2}までの実験の範囲内では，外見上の損傷としては肛門周辺表皮の充血がみられるものがあったが，著しい被害を示しているものはなかった。内部諸器官の解剖観察では，消化器では胃，腸などに充血がみられたが，胆嚢の破裂したものは全くなかった。肝臓，腎臓など柔らかい組織は破裂出血しているものが多く，循環器では静脈洞の破裂にともなう出血および脊椎動脈溢血などが多く認められた。予備実験を含めて，供試した全個体について斃死および横転状態などを呈していた魚に共通してみられた顕著な所見は，静脈洞，うきぶくろの破裂および腎臓，肝臓の組織破裂などの損傷であった。解剖時において主な内臓器官に極度の損傷を受けた個体が，取りあげ時の状態とどう対応しているかを示したのが Table 1. である。これらから，被爆によるコイの特徴的な損傷は，循環系，特に静脈洞の破裂による出血がその主体をしめ，うきぶくろの被膜破裂や腎臓および肝臓の組織破裂がこれにともなって起こり，致命的な障害であると言える。

被爆によるコイの損傷の特徴ならびに電気雷管の爆発に対する影響範囲を把握したうえで，雷管3本の爆発の際に爆心から1mの位置（ピーク圧，27.8kg/cm^2）において腹部，腹側部，頭部，尾部の各方向にむけて設置した10尾あてのコイに対して被爆実験を行った。供試魚の設置位置における圧力波形は Fig.2 に示

Table 1. Occurrence of the degrees of the internal organ damage in the injury classes of common carp.

Organ damage / Injury class	Heart	Air bladder	Liver	Kidney	Number of fish
	Rupture of sinus venosus + or more	Destruction of tissue + or more	Destruction of tissue ++ or more	Destruction of tissue ++ or more	
Death	87.5%	31.3%	43.8%	41.2%	16
Serious convulsion	40.0	33.3	5.9	40.0	15
Minor damage and survivor	4.0	8.0	0	24.0	25

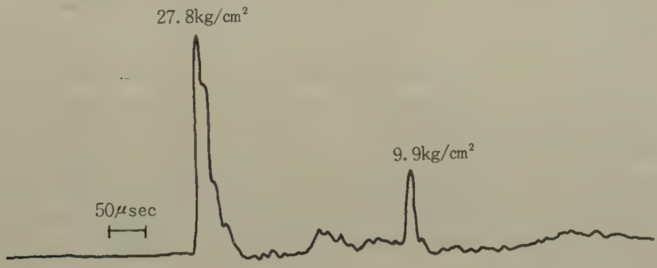


Fig. 2. Example of pressure wave form by underwater explosion of instantaneous cap.

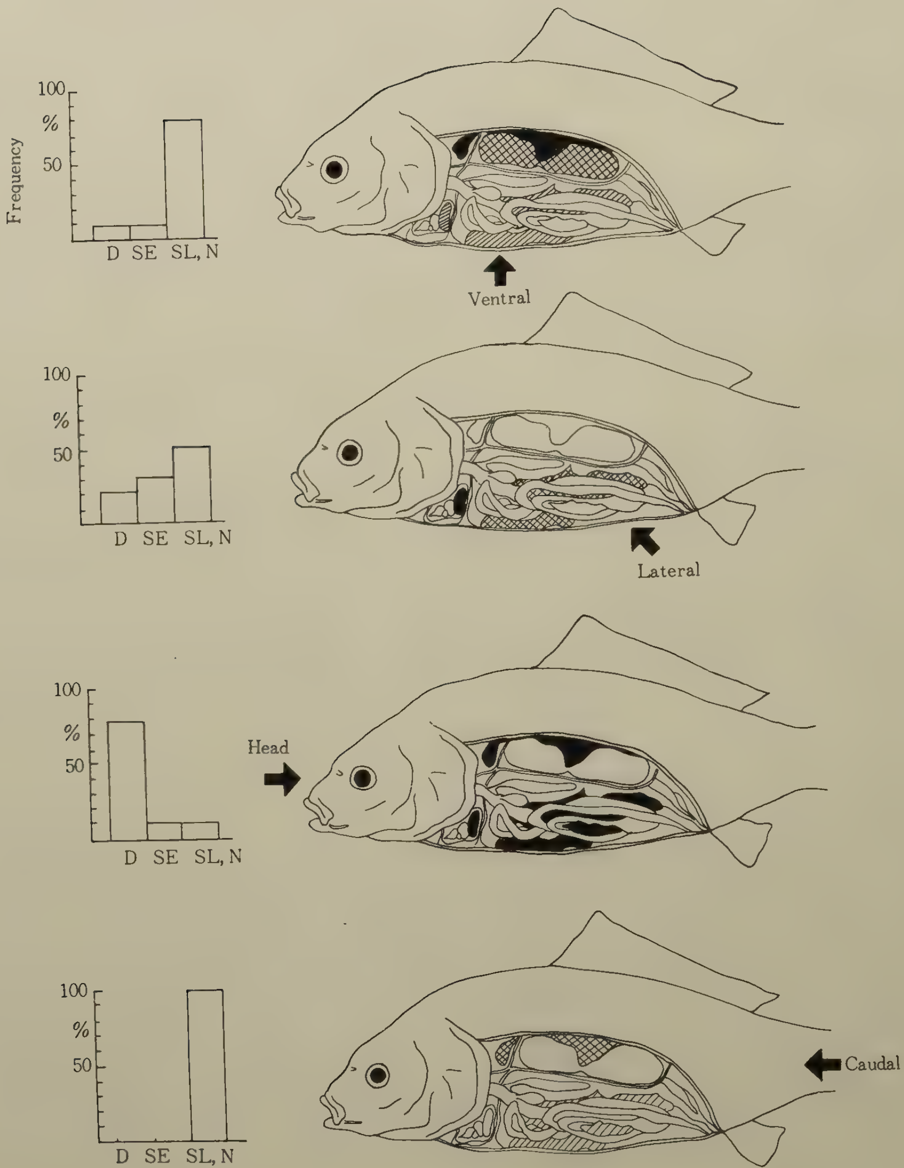


Fig. 3. Semidiagrammatic drawing of damages of external observation and internal organs of common carp by the difference of direction against explosion source (27.8kg/cm^2). D, death on the first inspection; SE, seriously injured; SL, slightly injured; N, normal in appearance. ■, seriously, damage index averaged over 1.5; ▩, tolerably, damage index averaged 1.0～; ▨, slightly, damage index averaged 0.5～; □, none, damage index averaged under 0.5.

したが，雷管爆発によって生ずる正圧部の持続時間は約 50 μ sec である。取りあげ時の状態ならびに解剖による損傷観察の結果は Appendix table 1. に示した。

取りあげ時に斃死および横転状態を呈したものの出現率をみると，頭部からの受圧のばあいが最も高く90％を示し，腹側部50％，腹部20％，尾部からのばあいは全くみられなかった。解剖による内部諸器官の損傷部位は，頭部からのばあいは，ほとんどの魚が静脈洞の破裂による出血が主体であるが，顕著な肝臓，腎臓の組織破裂もこれにともなっていた。腹部からでは脊椎に接している腎臓の損傷が著しく，腹側部では静脈洞の破裂が半数以上のものにみられた。尾部からのばあいには，とくに著しい損傷はみられなかった。

ここで，損傷の程度を数量化するため，解剖による観察結果に Table 2. に示す数値を与え比較検討を試みた。これらの数値を与えることによって，損傷の度合を求め，それらの総計を仮に損傷指数* とよび検討してみることにした。

Table 2. Conversion rule of damage index from symptoms observed in the main organs.

Organ \ Damage index	3	2	1	0
Liver	Destruction of tissue ＋＋ or more	Destruction of tissue ＋	Congestion ＋＋＋～＋	No effect
Heart	Rupture of sinus venosus ＋ or more			—
Air bladder	Destruction of tissue ＋ or more	Internal haemorrhage ＋＋＋～＋	Congestion ＋＋＋～＋	—
Kidney	Destruction of tissue ＋＋ or more	Destruction of tissue ＋	Congestion ＋＋＋～＋	—

内臓諸器官の観察結果に，これらの数値を適用して，各個体の損傷程度を総計しその平均値を基として，損傷状態を示したのが Fig. 3 である。全般的にみると，損傷を受け易い器官の位置関係では受圧面に近い柔らかい器官の肝臓，また受圧に対して圧迫され易い器官，たとえば腹部からの受圧に際しては堅い脊椎と強靱なうきぶくろにはさまれている腎臓などが特徴的に著しい損傷を受けており，器官の損傷は水中衝撃波の受圧方向と深い関連がみられることが明らかに認められた。

なお，受圧方向別の異なるピーク圧に対する被爆実験を予備的に上記の実験を含めて，19.7～37.6kg/cm^2 について4回実施した。この場合にみられた特徴としては，頭部からの受圧はある限界までは強い抵抗性を示すが，その限界を超えると急に損傷程度が大きくなる傾向がうかがわれた。

2.　海産魚のカサゴによる実験

受圧方向別の内部諸器官の損傷程度は Appendix table 2. に示したように，腹側部からの受圧の場合は殆んどの個体に肝臓組織の破裂がみられ，腹部からでは脊椎に接し強靱なうきぶくろにはさまれている腎臓が著しく特徴的な損傷を受けている。頭部からでは著しい損傷はみられないが，尾部からでは多くの器官が全般的な損傷を受けている。

損傷状態を模式的に示すため，解剖観察結果にコイで試みた前項の損傷指数の数値を与え，各器官ごとに平均した値を基として，ピーク圧21.9kg/cm^{2}の場合の被爆実験に適用したのが Fig. 4 である。全般的にみると損傷を受け易い器官の位置関係では受圧面に近い柔らかい肝臓，また，受圧に際して堅い脊椎と強靱なうきぶくろにはさまれている腎臓などが著しい特徴的な損傷を受けており，コイの場合と同様に器官の損傷は水中衝撃波の受圧方向と深い関係がみられた。

＊観察項目が4器官であるので，全項目について影響が特に著しいと仮定した場合の損傷指数は12となる。

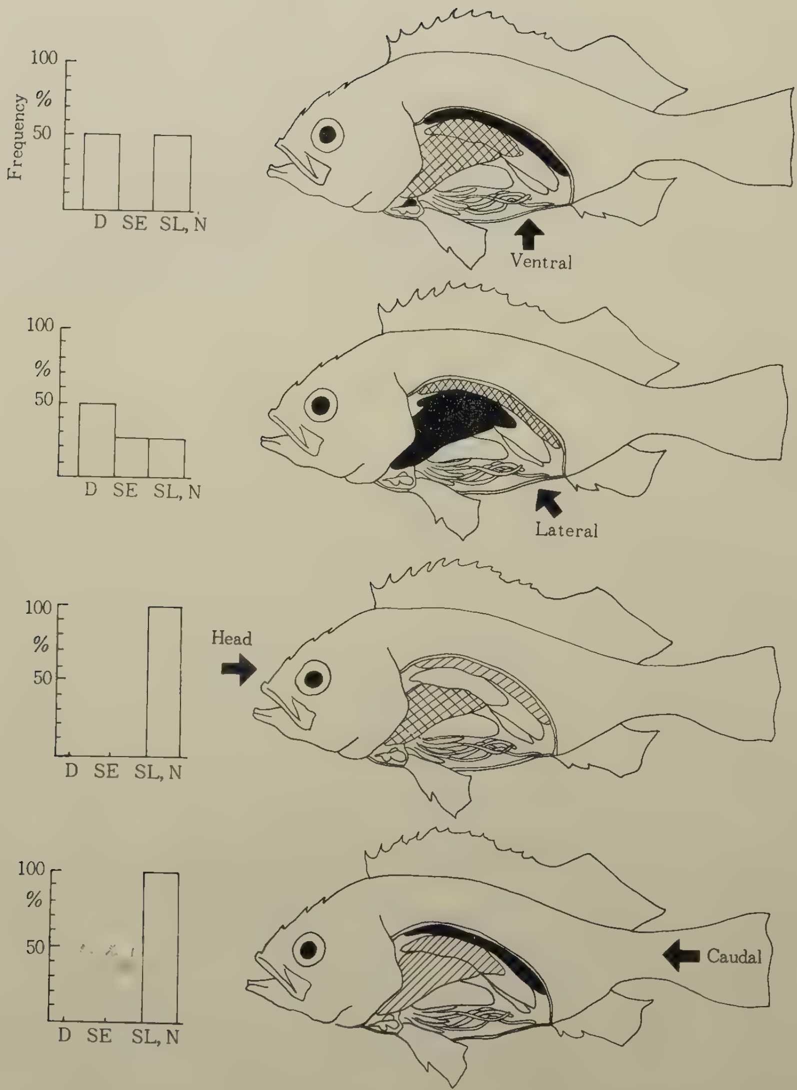


Fig. 4 Semidiagrammatic drawing of damages of external observation and internal organs of rock fish by the difference of direction against explosion source (21.9kg/cm²). D, SE, SL and N and symbols in the figure are same as the Fig. 3.

なお，受圧方向別の異なるピーク圧に対する被爆実験を，上記の実験を含めて，12.1～36.6kg/cm²について3回行った。いずれの場合も屋外コンクリート水槽内における雷管爆発によって生ずる圧力波形は，コイの被爆実験の場合の波形と殆んど同様な特徴を示し，正圧部の持続時間は約 50 μ sec であった。取りあげ時に斃死状態を呈したものの出現率をみると，腹部および腹側部からの場合それぞれ50%を示し，頭部，尾部からでは全くみられなかった。受圧方向別に，ピーク圧の違いによる損傷指数との関係をあらわしたのがFig. 5 である。受圧方向としては腹部からが最も被害が大きく，頭部および尾部からの場合はある限界を超えると急に損傷程度が大きくなる傾向がうかがわれた。

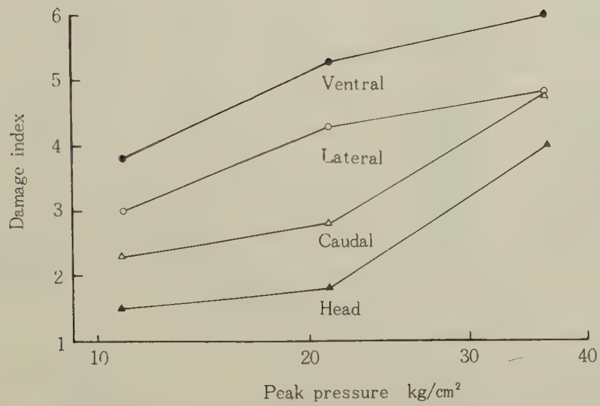


Fig. 5. Relation between damage index and peak pressure with the difference of direction against explosion source.

考　察

水槽内での被爆実験では比較的多くの供試生物も設置し易く，損傷影響も斃死率などとして数量化し検討できる。しかし，現地での発破実験では供試魚の入手や実験用籠の設置などの都合で期待どおりの尾数を配置することが容易でないことが多く，解剖観察結果の数量化についての工夫検討が望まれる。一般に解剖観察によって得られる結果は観察者の主観に影響され易く，必ずしも正確な量的比較とはならない。しかし，同一観察者による観察結果に基づき，さらに多くの供試魚について被爆後の継続飼育試験と内部器官の損傷程度を組織学的に検討，吟味した結果である場合にはかなりの精度をもって比較し得るものと考える。

内部器官の損傷は水中衝撃波の受圧方向と深い関連が認められたが，コイでは尾部からの受圧の場合が最も損傷程度が少なかったが，カサゴでは尾部からは比較的大きな損傷を受けた。供試時のカサゴは産卵期であったために腹部が膨満しており，このことが比較的外側に接した器官の損傷を大きくしたものと考えられた。なお，頭部からの受圧の場合には，ある限界のピーク圧まではかなり強い抵抗性を示すが，その限界を超えると急に損傷程度が大きくなる傾向がみられたが，これらのことから，魚種の体形，骨格の形態，孕卵期などによる内臓の位置関係などでも損傷の程度は異なることが予察されるので，今後も検討していきたい。

Ⅱ．水中衝撃波の波形特性と損傷の差異

従来の研究では，水中発破にともなう水産生物への損傷吟味は，衝撃波の圧力最高値との関連で検討されてきたものが多い。しかし，最近の研究によって，爆薬の種類，発破工法などが異なると，同じ薬量の爆発で同じピーク圧であっても，同一の魚種に対しても著しく異なった損傷を与えることが明らかとなった。魚類の損傷状態は単に衝撃波のピーク圧との関連だけでは論じ難いことがわかり，圧力波形の違いが魚類の損傷状態に差異を与える要因になっているようである。

本項では，従来から使用薬量，ピーク圧あるいは爆源からの距離などの視点から考察されていた被爆損傷状態を，異なる仕様の発破で生ずる異なった条件の圧力波形であっても，魚類の損傷状態を統一的に検討できる衝撃波特性の指標を見出そうとした。

実験方法

実験は1975年10月13日から17日まで，前述の東京大学工学部安全工学実験場内の模型実験水槽を使用し，養成した１歳コイを用いて行った。供試魚の被爆方法ならびに観察，処理は前項とおおむね同様であるが，

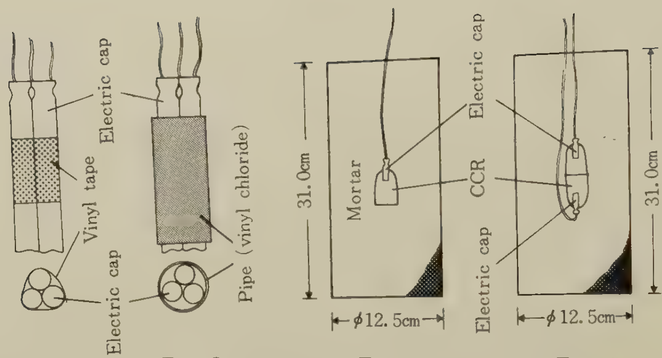


Fig. 6. Type of explosion source used in the experiment.

前項の実験で受圧方向のちがいによる内部器官の損傷程度は大きく異なることが明らかになったので，実験はすべて腹側部からの受圧になるよう供試魚を設置した。

爆源には異なる波圧波形を発生させるために，電気雷管およびコンクリート破砕器（ＣＣＲ旭２号，以下ＣＣＲと呼ぶ）を使用した。ＣＣＲ旭２号はＣＣＲ用火薬30ｇを塩ビ製容器に詰めたものであるが，ＣＣＲはそれのみでは完全燃焼しないので Fig.6 の３，４型に示すように，モルタル内に埋め込み電気雷管１～２本を起爆源として使用し爆発させた。

なお，２個あるいは３個の電気雷管を段差をつけて爆発させて繰り返しの圧力パルスを加え，加える圧力パルスの時間間隔のちがいによる損傷程度の差異についても調べた。この場合，段発の時間間隔を変えるためには瞬発電気雷管および点火から爆発に至るまでの経過時間の異なるＭＳ２段～５段，ＤＳ２段～３段などの電気雷管を組み合わせ用いた。１秒間隔で二つの圧力パルスを得る場合は瞬発電気雷管を用い，１秒間隔に点火スイッチを入れる方法をとった。

実験結果

今回の実験は，内部器官への影響が現れはじめてから，斃死に至るまでの比較的せまい範囲について，損傷程度と衝撃波の波形特徴との関連を把握することを目的として，予備実験を行った。その結果，瞬発電気雷管の爆発による影響はピーク圧で表示すると20～30kg/cm^2，ＣＣＲによるそれは６～15kg/cm^{2}であることが明らかになったので，本実験はこれらの範囲についてそれぞれ４回実施した。被爆後の取りあげ時の外見上の観察および内部諸器官の解剖観察結果については Appendix table 3. に示した。これらの数量化の試みについては前項の方式に準じて整理した。

予備実験も含めて供試した全個体（ｎ＝168）について，取りあげ時の状態と損傷指数を対応させた場合の分布状態を Table 3. に示した。取りあげ時に斃死している個体は損傷指数で８以上，横転していて間もなく斃死することが確実と思われる極度のけいれん状態のものは５～10（平均値で6.7）を示している。軽

Table 3. Injury classes of examined fish and damage index immediately after explosion.

Injury class	Distribution of damage index (Number of fish)		Average of damage index
Death	Over 8	(6)	9.8
Serious convulsion	5～10	(34)	6.7
Minor damage	4～7	(5)	5.2
Survivor	under 5	(123)	—

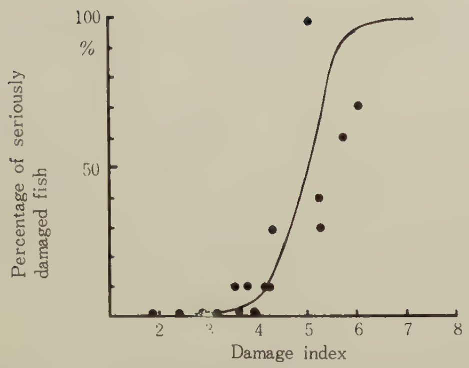


Fig. 7. Relation between percentage of seriously damaged fish and damage index immediately after explosion.

度の異状個体は分布で4～7，平均値で5.2，游泳状態にも異状が認められない生存個体は5以下の損傷指数を示していた。さらに，これらの分布状態を実験群としての損傷指数の平均値と極度のけいれん個体以上の出現率の関係を示したのが Fig. 7 である。被爆によって全く影響を受けないか，ある程度の損傷を受け

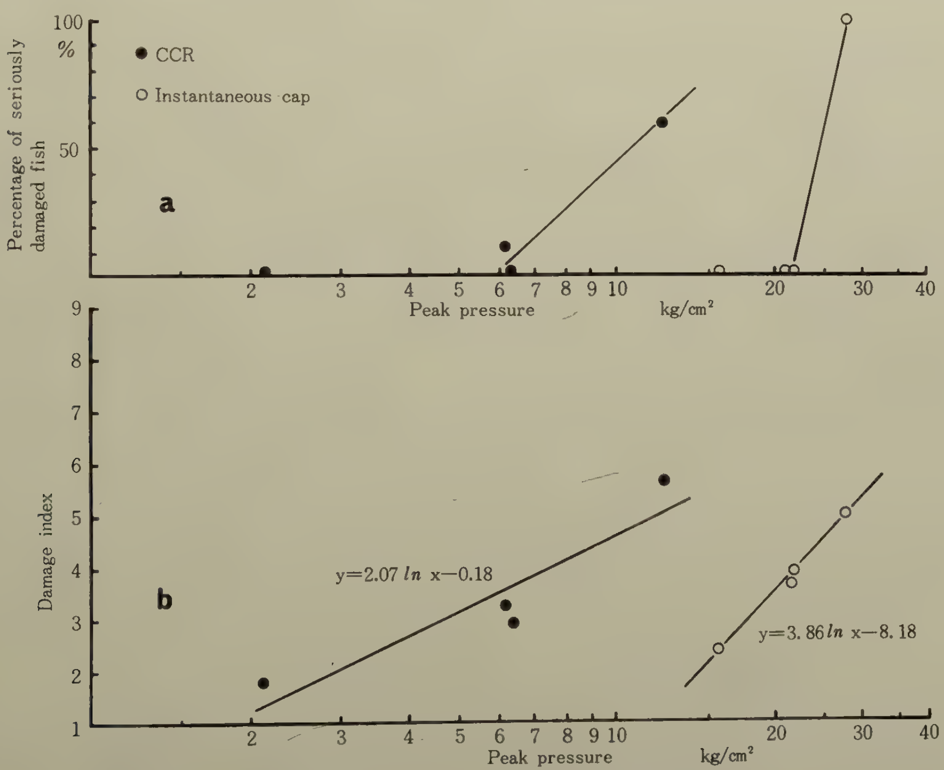


Fig. 8. Relation between the influence to fish and peak pressure by underwater explosion of CCR and instantaneous cap. Seriously damaged fish includes both those of death and those of seriously injured on initial observation after explosion.

たとしてもその後の生存には影響が少なく治癒するような損傷指数の安全限界は，被爆後の飼育試験などをも吟味し，３～４程度に目安をおくのが妥当と判断された。

瞬発電気雷管及びＣＣＲを用いた爆発の衝撃波のピーク圧と極度のけいれん個体の出現率，損傷指数との関係を示したのが Fig. 8 である。ａ図により，極度のけいれん個体が出現しはじめるピーク圧は，ＣＣＲでは6 kg/cm²前後であるのに対し瞬発雷管では20kg/cm²程度で，同程度の影響を与えるピーク圧には大きなひらきがあることがわかる。なお，損傷指数とピーク圧との関係を圧力波形の異なる電気雷管とＣＣＲの爆発について示したｂ図について，さきに安全限界の目安として考えた損傷指数３～４に対応するピーク圧をみるとＣＣＲでは6 kg/cm²程度，電気雷管では20kg/cm²となっている。ａ図との関係からみても解剖観察から得た損傷程度に数値を与えて数量化した損傷指数は，この種の検討の方法の一つとして妥当なものと認められた。

Fig. 8 から明らかなように，波形の異なる衝撃波については，同じ程度の損傷を示すピーク圧は爆源の種類によって異なっており，ピーク圧だけの表示では供試魚に対する損傷影響を同じ基盤のうえでは論じ得ないことがわかる。電気雷管とＣＣＲによる爆発のさいに生ずる衝撃波の特徴を Fig. 9 の数例について比較

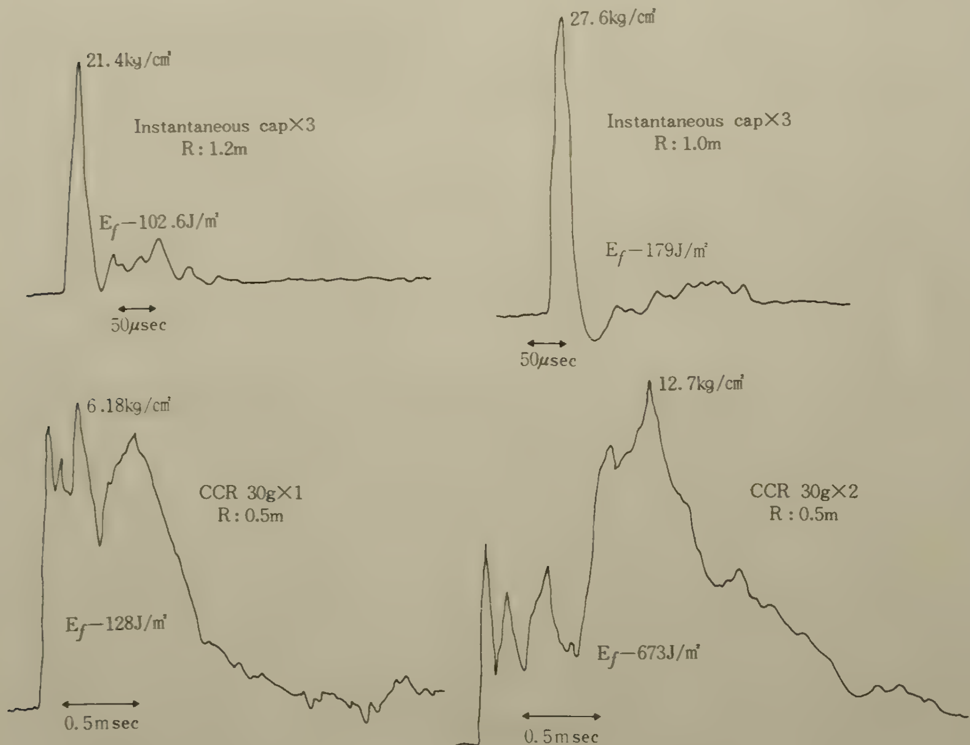


Fig. 9. Examples of pressure wave form by underwater explosion of CCR and instantaneous cap. R, distance from explosion point.

すると，その大きなちがいは前者では波圧の正圧部分の持続時間がほぼ 50 μ sec であるのに対して，後者では１～２ m sec であり20～40倍の持続時間の差がみられる。ここで，内部器官に与える損傷は，圧力波動の波長が長くなるＣＣＲの爆発の場合の方が電気雷管の場合より同じピーク圧でもより大きな影響を与えていることから，内部器官の損傷に関与する要因として圧力最高値以外に持続時間も考慮する必要があると思われる。圧力の持続時間によって表わされる物理量としてはインパルスとエネルギーがあるが，物理的に考

えた場合，内部器官が損傷を受けるということは，外部からなんらかの仕事量が与えられることと理解され，エネルギー密度が大きいほど内部器官に与える損傷が大きいものと推論される。波動のもつエネルギー密度は，次式によって与えられる。

$$Ef=\frac{1}{\rho o\ Co}\int\left\{P(t)\right\}^2dt$$

Ef：エネルギー密度，ρo：媒質の密度

Co：媒質の音速，P(t)：圧力値

エネルギー密度の算出については，本来，波動の始まりから最後までを計算する必要がある。とくに，現地での穿孔発破の場合などでは，幾つかの波形が発生するのが通常であるので，遅発電気雷管を用いて，段差間隔をかえて，くり返しの圧力パルスを加える実験を行い，段差の時間間隔のちがいと損傷程度について

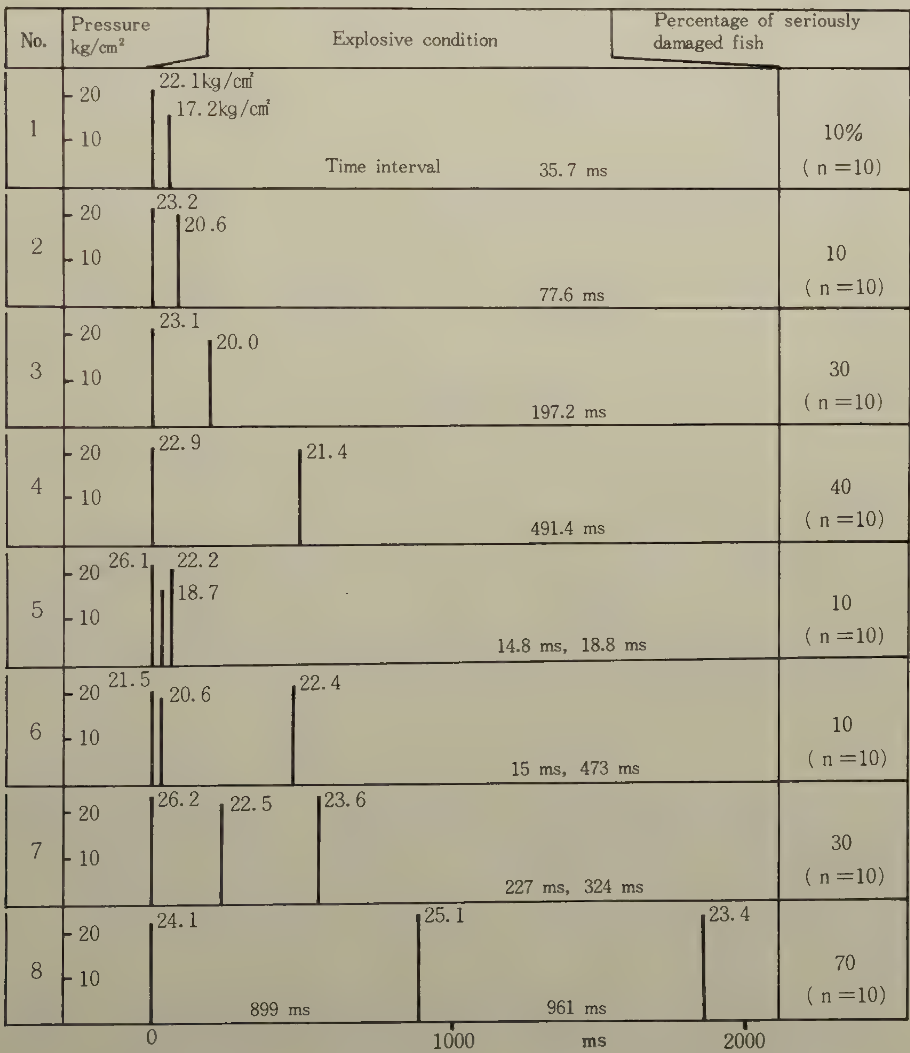


Fig. 10. Frequency of the percentage of seriously damaged fish by the difference of explosive conditions.

検討した。この結果，波動の持続時間が 100m sec 以下の場合には，その間に2発，3発と繰り返しの圧力パルスが加わっても，瞬時電気雷管による1発の爆発の場合とほとんど変わらない損傷程度を示すことが Fig. 10 からうかがわれる。

したがって本報では，くり返しあらわれる正圧部のそれぞれのエネルギー密度を計算し，その中でもっとも大きなエネルギー密度をその波動のエネルギー密度とした。これにより算出したエネルギー密度は，付表のそれぞれの最下欄に示した。

算出したエネルギー密度と損傷指数の関連を，CCR及び瞬発電気雷管の爆発について表わしたのが Fig. 11 である。損傷指数(y)とエネルギー密度(x)との関係は，圧力波形の異なるCCRと瞬発電気雷管の爆発いずれの場合も，$y = 0.99\, ln x - 0.65$ の関係式で表わされ，同じ基盤のうえで統一的に論ずることの可能性が示唆された。これから，被爆に対するコイの損傷指数で表示される安全限界3～4に対応するエネルギー密度を計算すると40～100 J/m^2 となる。

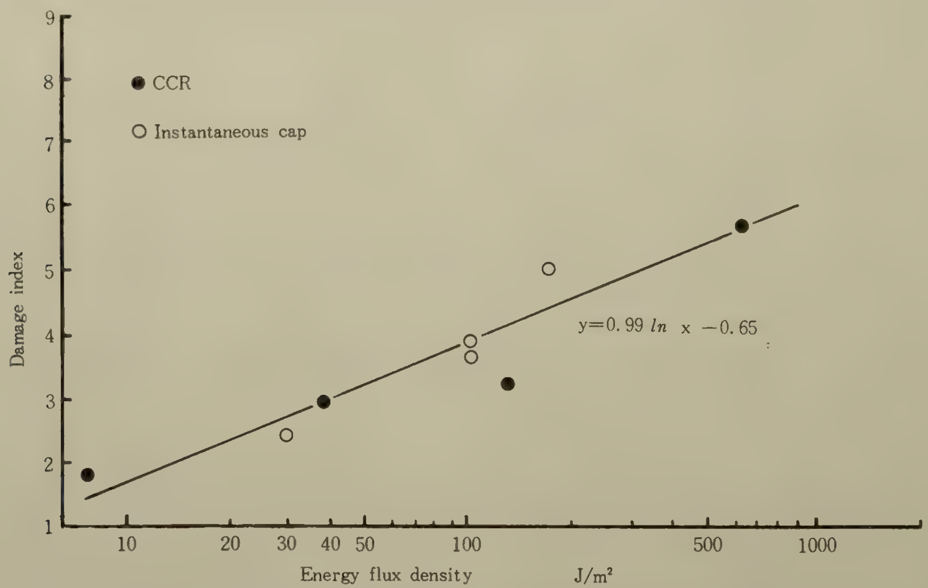


Fig. 11. Relation between damage index and energy flux density by underwater explosion and instantaneous cap.

考　　察

コイについては被爆による損傷程度をエネルギー密度で関連づけることで，圧力波形の異なる爆発でも同じ基盤のうえで論議できることが示唆された。このような検討方法が，発破工法，薬量，地盤などのちがいにより衝撃波の波形に著しい相違があった場合についてもあてはめられるかどうかを同一魚種で，異なる発破工法を用いて行われた既往の実験資料に基づいて検討する。

1）カサゴ（穿孔発破と瞬発電気雷管爆発）

電気雷管による水槽内実験は受圧方向による損傷影響を検討した実験資料（Appendix table 2.）を使用した。穿孔発破資料は南北備讃瀬戸現地穿孔発破[1]のさいの三ツ子島周辺における実験（4A）のうち，地点1～3（爆心から20～100m）についてエネルギー密度を算出した。この場合，著しく高いピーク圧とエネルギー密度を示した爆心近くの地点は，ここでの目的が安全限界付近の比較的せまい範囲についての整理であることから除いた。なお，内部器官の損傷程度についても，著しい影響を受けた場合に認められるような

骨格損傷などは除き，肝臓，循環器，うきぶくろ，腎臓の比較的損傷を受け易く，かつ主要な4器官にしぼって整理し，この結果を Appendix table 4. に示した。

瞬発電気雷管の圧力波形は前項でも述べたように，正圧部は単純で持続時間はほぼ 50μ sec であるのに対し，現地穿孔発破では Fig. 12 にその数例を示したように，波形はかなり複雑となり，持続時間も多くのばあい5～8 m sec となり，電気雷管の爆発の場合にくらべると100～160倍の持続時間を示している。

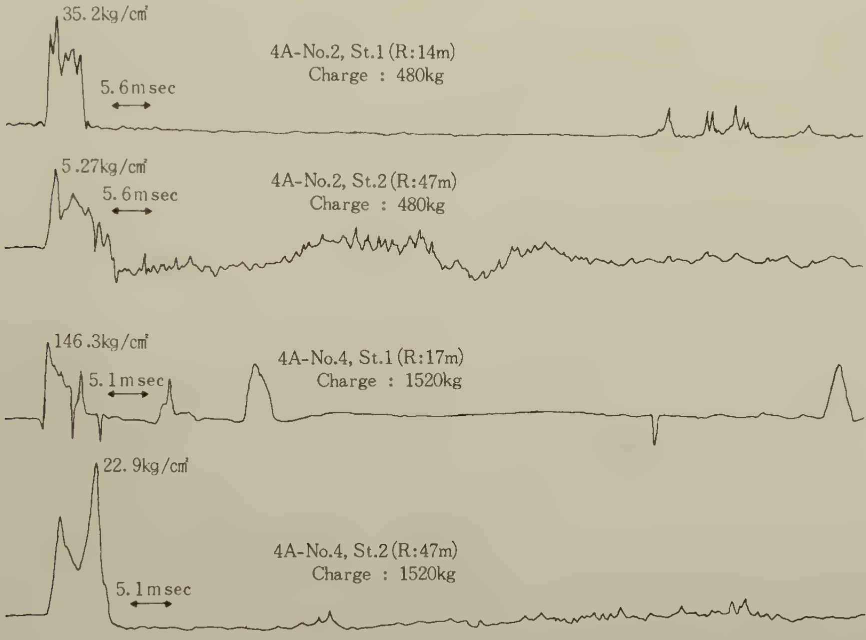


Fig. 12. Examples of pressure wave form by borehole blasting at Bisan strait (1975)[1].

電気雷管爆発と現地穿孔発破におけるピーク圧およびエネルギー密度と損傷状態との関係を Fig. 13 に示した。この場合，現地穿孔発破では，各点のばらつきが大きくみられるが，これは供試魚の自由游泳による受圧方向のちがいにもとづく損傷程度の差異と考えられる。さらに，実験時期がカサゴの産卵期にあたっていたことからも，個体によっては受精卵が体内に充満していたことが損傷程度にむらを生じさせた原因であり，このことは解剖観察でもうかがわれた。

損傷の程度を，極度のけいれん以上の個体の出現率あるいは損傷指数として表わし，これとピーク圧との関係を示したaおよびb図をみると，波形の大きく異なる両爆発では，同じ損傷程度を示すピーク圧の値はそれぞれ大きくかけ離れている。

ここで，コイの場合と同じようにエネルギー密度との関連で示すとc図となるが，ばらつきはやや大きいが一応同じ基盤のうえで論議できる傾向がうかがわれる。

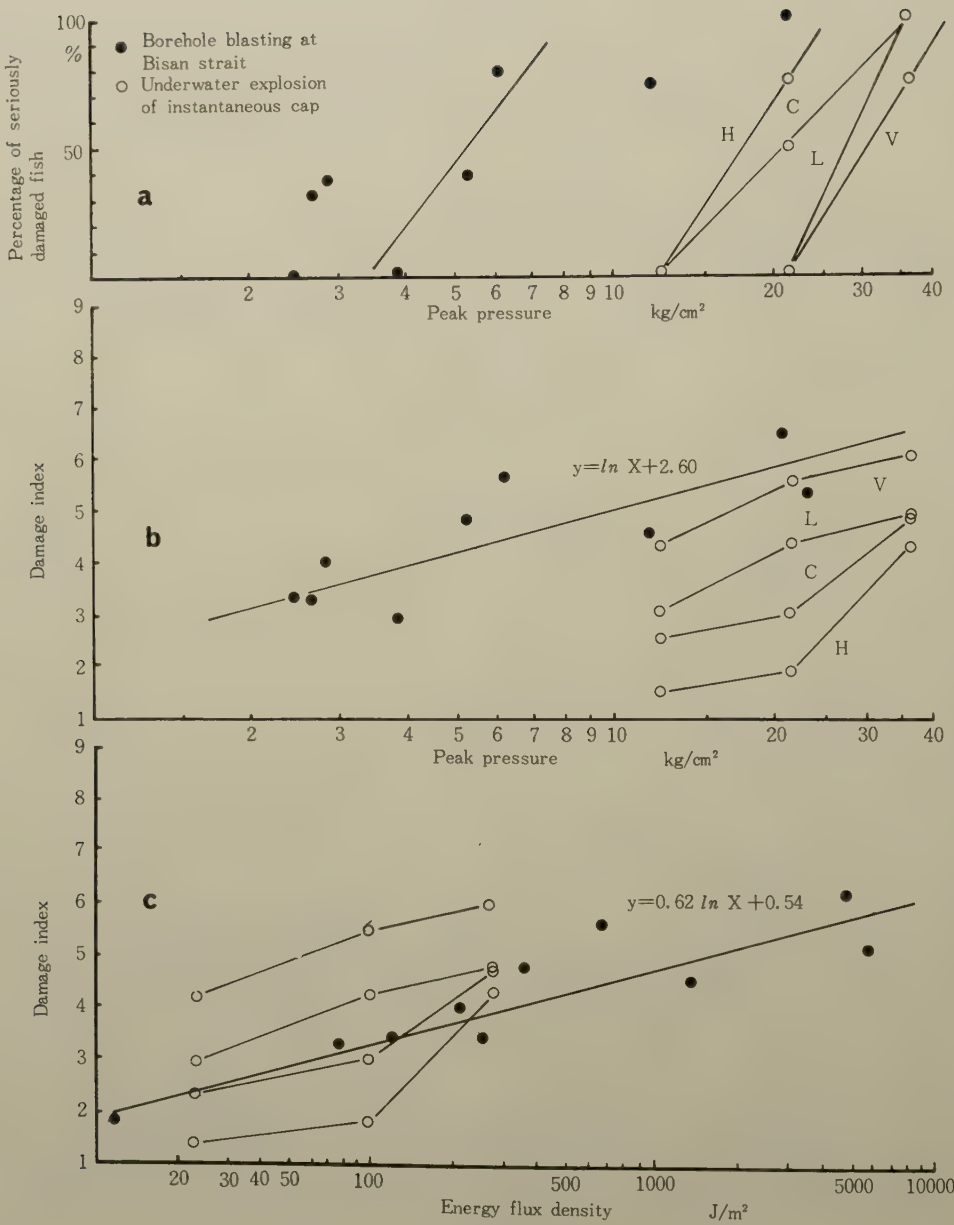


Fig. 13. Relation between the influence to fishes and strength of explosion by underwater explosion of instantaneous cap and borehole blasting at Bisan strait (1975)[1). V, L, C, and H in the figure show the direction of fishes against explosion source. V; ventral, L; lateral, C; caudal, H; head

2）スズキ（穿孔発破と水中宙吊り爆発）

穿孔発破は前述資料[1]を用い，宙吊り爆発は三重県五ヶ所湾で行われた“水中爆破に伴う水中衝撃波軽減法”での第9回目実験[2]の資料を用いた。使用した整理資料は Appendix table 5. に示した。宙吊り爆発は薬量5 kgの新桐ダイナマイトによる爆発であるが，正圧部の持続時間は約1 m sec で，現地穿孔発破の5

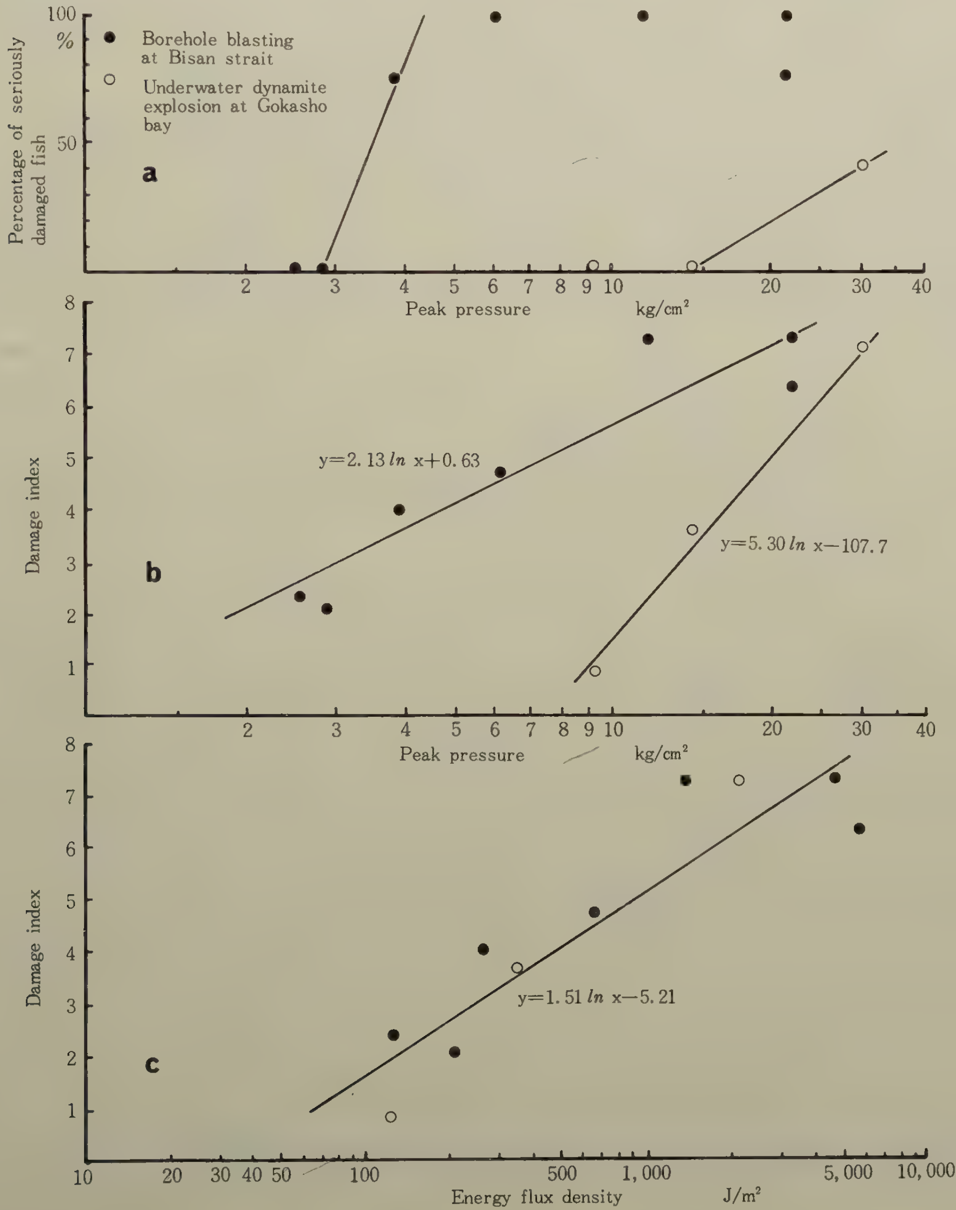


Fig. 14. Relation between the influence to fishes and strength of explosion by underwater dynamite explosion at Gokasho bay (1970)[2] and borehole blasting at Bisan strait (1975)[1].

～8 m sec にくらべると$^1{}_5$～$^1{}_8$倍となっている。なお，宙吊り爆発では波圧測定器と供試魚の設置場所が距離的にずれていたので，供試魚の地点におけるピーク圧及びエネルギー密度は関係式から算出した。

宙吊り爆発と現地穿孔発破におけるピーク圧及びエネルギー密度と損傷状態との関係を Fig. 14 に示した。ここでピーク圧との極度のけいれん以上の損傷を示した個体の出現率あるいは損傷指数との関係をみると，波形の異なる両爆発を同じ基盤のうえでは論議できないことは，コイ，カサゴでのばあいと同様である。

ここで，損傷指数とエネルギー密度との関連において両爆発を検討すると関連式は $y=1.51\,ln x-5.21$ で表わされ，同じ基盤のうえで統一的に論議できる可能性がうかがわれる。

水中爆発にともなって生ずる衝撃波の水産生物に及ぼす影響の吟味を，従来から一般に用いられてきたピーク圧のかわりに，衝撃波のもつエネルギー密度との関連で検討した結果，異なる波形をもつ衝撃波であっても，同じ基盤のうえで検討できることがほぼうかがわれた。水中発破にともなって生ずる物理化学的な諸現象についての工学的知見は多く，発破工法，爆薬，岩盤特性などの事前調査によって，圧力波形やピーク圧などもかなりの精度で予察することができる。このことから，内部諸器官の損傷にかかわりあっている衝撃波要因が，より適確に解明されるならば，予定される発破工事の水産生物に及ぼす影響の様態と程度が予測でき，有用水産資源の保護を目途とした適正な施行計画策定のための，より精度の高い基礎資料が得られるものと期待される。

要　　　　約

1）水中発破を実施するさいに生ずる水中衝撃波の受圧方向による損傷の差異を，コイおよびカサゴを材料として模型実験水槽で爆発実験を行って検討した。

2）被爆によって損傷を受け易い器官は静脈洞破裂，腎臓，肝臓の組織破裂などで，とくに静脈洞破裂は斃死に直接的に結びつく。

3）内部器官の損傷は，水中衝撃波の受圧方向と深い関連がみられた。一般的には，腹部からの受圧では脊椎に接している腎臓の損傷が著しく，腹側部からの受圧では肝臓組織の破裂が認められ，尾部からのばあいは比較的抵抗性が強い傾向がみられた。頭部からのばあいは，ある限界のピーク圧までは抵抗性が強いが，その限界を超えると急に損傷程度が大きくなる特徴がみられた。これらのことは，発破実験で魚の損傷を比較するばあいには魚の爆心に対する向きを考慮して資料解析をする必要があることを示唆している。

4）水中衝撃波の水産生物に及ぼす影響について，衝撃波の波形特性と損傷状態との関係をみると，圧力波動の波長が長い衝撃波は，同じピーク圧でもより大きな影響を与えることが明らかになった。

5）内部器官の損傷程度を，波動のもつエネルギー密度との関連で検討した結果，衝撃波の波形のいちじるしく異なるＣＣＲと電気雷管爆発でも同じ関係式で表わすことができた。

6）既往の実験資料について，水中衝撃波のいちじるしく異なる各種の爆発について，損傷状態をエネルギー密度との関連で検討することによって，異なる衝撃波によるものであってもかなり同じ基盤のうえで論議できることがわかった。

文　　　　献

1）水中発破問題検討委員会，1975：水中発破問題検討委員会報告第1号．日本水産資源保護協会，15—154.

2）若園吉一・小川輝繁・沢田保夫・阪口清次，1970：水中爆破に伴う水中衝撃波軽減法(1)．工業火薬協会誌，**31**(2)，81—88.

Appendix table 1. Symptoms observed on major internal organs (*Cyprinus carpio*)
Underwater explosion by instantaneous cap

Direction against explosion source			Head									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Body Length (cm)			20.0	21.0	22.0	23.0	20.5	23.5	21.5	23.0	22.0	21.0
Body Weigth (gr)			225	300	300	320	250	300	280	310	310	270
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	+	+	++	++	++	+	+	+	+	+
		Congestion										
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	+	+	+	+	+	+	+	−	+
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		Internal haemorrhage	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		Congestion	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	Kidney	Destruction of tissue	−	+	−	+	+	+	++	+	+	+
		Congestion	++									
Initial observation just after explosion*			N	D	D	D	D	D	D	D	SE	D
Damage index			3	7	6	8	8	7	8	7	4	7
Peak pressure (P)			P : 27.2 Kg/cm2									

* D, death on first inspection; SE, seriously injury; SL, slightly injury; N, normal in appearance.

(continued)

Direction against explosion source			Ventral									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Body Length (cm)			19.5	18.0	18.0	20.0	18.5	20.0	−	−	−	−
Body Weigth (gr)			240	180	160	230	180	200	−	−	−	−
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−				
		Congestion	++	++	++	++	++	++				
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	+	−				
	Air-bladder	Destruction of tissue	+	−	−	+	−	−				
		Internal haemorrhage		−	−		−	−				
		Congestion		−	−		−	−				
	Kidney	Destruction of tissue	++	++	++	++	+++	++				
		Congestion										
Initial observation just after explosion*			N	N	N	SE	D	N	N	N	N	N
Damage index			7	4	4	7	7	4				
Peak pressure (P)			P : 27.2 Kg/cm2									

(continued)

Direction against explosion source			Lateral									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Body Length (cm)			21.0	22.0	21.5	21.5	22.0	21.5	21.0	21.5	−	−
Body Weigth (gr)			235	285	290	250	265	295	270	255	−	−
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	+	−	−	+	−	++	−	+		
		Congestion		++	++		++		++			
	Heart	Rupture of sinus venosus	+	−	+	+	−	+	−	+		
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−		
		Internal haemorrahage	−	−	−	−	−	−	−	−		
		Congestion	−	−	−	−	−	−	−	−		
	Kidney	Destruction of tissue	−	−	−	−	+	−	−	−		
		Congestion	−	−	−	−		−	−	++		
Initial observation just after explosion*			SE	N	N	D	SE	D	N	SE	N	N
Damage index			5	1	4	5	3	6	1	6		
Peak pressure (P)			P : 27.2 Kg/cm²									

(continued)

Direction against explosion source			Caudal									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Body Length (cm)			20.5	18.6	19.3	20.0	17.7	−	−	−	−	−
Body Weigth (gr)			230	221	216	220	135	−	−	−	−	−
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	+	−	−	−	−					
		Congestion		+++	+++	+	+					
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−					
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−					
		Internal haemorrahage	−	−	−	−	−					
		Congestion	−	−	−	−	−					
	Kidney	Destruction of tissue	+	−	−	+	−					
		Congestion		+	++		+					
Initial observation just after explosion*			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Damage index			4	2	2	3	2					
Peak pressure (P)			P : 27.2 Kg/cm²									

Appendix table 2. Symptoms observed on major internal organs (*Sebastiscus marmoratus*)

1. Underwater explosion by instantaneous cap

Direction against explosion source			Lateral				Ventral			
Number of fish			1	2	3	4	1	2	3	4
Body Length (cm)			19.5	18.0	15.0	11.5	11.5	12.5	15.5	17.5
Body Weigth (gr)			330	210	160	65	70	80	180	210
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	+	+	+	+	−	−	−	−
		Congestion					+	+++	+	+++
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−
		Internal haemorrahage	−	−	−	−	−	−	−	−
		Congestion	++	−	−	+	+	++	++	−
	Kidney	Destruction of tissue	+	−	−	−	++	+	−	+
		Congestion		−	−	−			++	
Initial observation just after explosion*			SL	N	N	N	N	N	N	N
Damage index			5	2	2	3	5	4	3	3
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 12.1 Kg/cm², Ef : 23.3 J/m²							

* D, death on first inspection; SE, seriously injury; SL, slightly injury; N, normal in appearance.

(continued)

Direction against explosion source			Head				Caudal			
Number of fish			1	2	3	4	1	2	3	4
Body Length (cm)			16.5	14.5	14.5	12.0	11.5	12.5	14.5	13.5
Body Weigth (gr)			165	145	165	75	70	95	105	100
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−
		Congestion	++	+	+	−	+++	++	+	+
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−
		Internal haemorrahage	−	−	−	−	−	−	−	−
		Congestion	−	−	−	++	++	++	+	+
	Kidney	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−
		Congestion	−	+++	++	−	−	+	−	−
Initial observation just after explosion*			N	N	N	N	SL	SL	N	N
Damage index			1	2	2	1	2	3	2	3
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 12.1 Kg/cm², Ef : 23.3 J/m²							

(continued)

Direction against explosion source			Lateral				Ventral					
Number of fish			1	2	3	4	1	2	3	4		
Body Length (cm)			21.0	18.0	18.5	18.0	18.5	18.0	16.5	15.5		
Body Weigth (gr)			300	270	240	210	270	270	200	150		
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	+	+	−	+	−	−	−	−		
		Congestion			+		++	++	+++	+		
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	+	−	+	−		
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−		
		Internal haemorrahage	+	+	+	−	+	−	−	−		
		Congestion				+		+	+	++		
	Kidney	Destruction of tissue	−	−	−	−	+	+	+	−		
		Congestion	+	++	+	−				−		
Initial observation just after explosion*			D	D	SE	N	D	N	D	N		
Damage index			5	5	4	3	8	4	7	2		
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 21.9 Kg/cm², Ef : 99.4 J/m²									

(continued)

Direction against explosion source			Head				Caudal					
Number of fish			1	2	3	4	1	2	3	4		
Body Length (cm)			22.0	19.0	18.0	17.0	17.0	18.0	17.0	14.0		
Body Weigth (gr)			360	280	220	210	190	205	230	115		
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	+	−	−	−	−	−	−	−		
		Congestion		+	++	+	+	++	+++	−		
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−		
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−		
		Internal haemorrahage	−	−	−	−	−	−	−	−		
		Congestion	−	−	−	−	−	−	+	++		
	Kidney	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	+	+	−		
		Congestion	−	++	++	−	++			+++		
Initial observation just after explosion*			N	N	N	N	N	N	N	N		
Damage index			2	2	2	1	2	3	4	2		
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 21.9 Kg/cm², Ef : 99.4 J/m²									

(continued)

Direction against explosion source			Lateral				Ventral					
Number of fish			1	2	3	4	1	2	3	4		
Body Length (cm)			13.0	13.5	18.0	20.0	18.5	17.5	13.5	13.0		
Body Weigth (gr)			90	95	230	270	280	215	110	75		
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	+	−	+	−	+	−	−	+		
		Congestion		+		+		++	+			
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−		
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−		
		Internal haemorrahage	+	−	+	+	−	+	+	−		
		Congestion		++			++			++		
	Kidney	Destruction of tissue	−	+	−	+	++	++	++	+++		
		Congestion	++		++							
Initial observation just after explosion*			D	S E	D	D	D	D	D	D		
Damage index			5	4	5	5	6	6	6	6		
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 36.6 Kg/cm², Ef : 278 J/m²									

(continued)

Direction against explosion source			Head				Caudal					
Number of fish			1	2	3	4	1	2	3	4		
Body Length (cm)			12.5	14.0	12.5	18.0	12.5	14.5	19.0	19.5		
Body Weigth (gr)			90	100	85	210	75	110	280	350		
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	+	−	−	−	+	−		
		Congestion	+++	−		±	+	+		++		
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−		
	Air-bladder	Destruction of tissue	+	−	−	−	−	−	−	−		
		Internal haemorrahage		−	−	−	+	+	−	−		
		Congestion		++	+	+++			+	+		
	Kidney	Destruction of tissue	+	−	+	−	++	−	+	+		
		Congestion		+		++		+				
Initial observation just after explosion*			D	S L	S E	S E	D	S E	D	S E		
Damage index			6	2	5	3	6	4	5	4		
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 36.6 Kg/cm², Ef : 278 J/m²									

Appendix table 3. Symptoms observed on major internal organs (*Cyprinus carpio*)

1. Underwater explosion by instantanneous cap

(Direction against explosion source is lateral side)

Type of explosion source and distance from explosion point			Instantaneous cap—1.2m									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Body Length (cm)			16.6	16.6	16.4	14.5	17.7	15.3	16.6	17.0	15.2	14.4
Body Weigth (gr)			125	112	122	82	128	80	119	133	89	92
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	+	−	+
		Congestion	+	−	+	+	+	+++	++		++	
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		Internal haemorrahage	−	−	+	−	−	−	−	−	−	+
		Congestion	+	+		+	+	−	−	−	+++	
	Kidney	Destruction of tissue	−	+	+	+	+	+	++	+	−	+
		Congestion	+								+++	
Initial observation just after explosion*			N	N	N	N	N	N	N	N	N	SL
Damage index			3	3	5	4	4	3	4	4	3	6
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 21.4 Kg/cm², Ef : 102.6 J/m²									

* D, death on first inspection; SE, seriously injury; SL, slightly injury; N, normal in appearance.

(continued)

Type of explosion source and distance from explosion point			Instantaneous cap—1.5m					Instantaneous cap—1.0m				
Number of fish			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Body Length (cm)			15.5	14.8	15.8	15.8	15.2	16.6	16.4	15.3	17.0	14.4
Body Weigth (gr)			96	90	106	106	94	130	121	82	123	93
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	+	−	−	−	−	−	−
		Congestion	++	+++	+		+++	+++	++	+++	+	+
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		Internal haemorrahage	−	−	−	−	−	−	+	−	+	−
		Congestion	−	−	−	−	−	+		−		+
	Kidney	Destruction of tissue	−	−	−	+	−	++	++	++	+	++
		Congestion	++	+++	+++		+++					
Initial observation just after explosion*			N	N	N	N	N	SE	SE	SE	SE	SE
Damage index			2	2	2	4	2	5	6	4	5	5
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 15.9 Kg/cm², Ef : 29.1 J/m²					P : 27.6 Kg/cm², Ef : 179 J/m²				

(continued)

Type of explosion source and distance from explosion point			Instantaneous cap—1.3m									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Body Length (cm)			14.5	15.5	15.0	16.1	16.6	16.2	16.2	17.3	15.6	14.5
Body Weigth (gr)			80	100	103	106	113	105	120	129	95	78
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		Congestion	+	–	+	+	+	+	+	+	+	+
	Heart	Rupture of sinus venosus	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Air-bladder	Destruction of tissue	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		Internal haemorrahage	–	–	+	–	–	–	–	–	+	–
		Congestion	–	–		–	–	–	–	–		++
	Kidney	Destruction of tissue	++	+	+	+	+	++	+	+	+	+
		Congestion										
Initial observation just after explosion*			N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
Damage index			4	2	5	3	3	4	3	3	5	4
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 21.3 Kg/cm², Ef : 102 J/m²									

2. Underwater explosion by CCR

(continued)

Type of explosion source and distance from explosion point			CCR × 1—1.5m									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Body Length (cm)			15.1	15.3	16.1	14.8	14.0	15.1	17.5	14.1	15.6	
Body Weigth (gr)			82	102	110	85	80	106	140	80	118	
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
		Congestion	+	+	++	+	+	++	+	+	++	
	Heart	Rupture of sinus venosus	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	Air-bladder	Destruction of tissue	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
		Internal haemorrahage	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
		Congestion	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
	Kidney	Destruction of tissue	–	–	–	–	–	–	–	–	–	
		Congestion	+	+	++	+	+	+	–	++	+	
Initial observation just after explosion*			N	N	N	N	N	N	N	N	N	
Damage index			2	1	2	2	2	2	1	2	2	
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 2.12 Kg/cm², Ef : 7.5 J/m²									

(continued)

Type of explosion source and distance from explosion point			CCR×2—1.5m								
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Body Length (cm)			14.8	15.8	16.8	16.0	13.6	14.2	14.5	16.1	13.4
Body Weigth (gr)			90	118	130	120	72	80	86	110	64
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		Congestion	+++	+	+++	+++	+++	+	+++	+++	++
	Heart	Rupture of sinus venosus	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Air-bladder	Destruction of tissue	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		Internal haemorrahage	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		Congestion	++	–	–	+	–	–	+	+	+
	Kidney	Destruction of tissue	–	+	+	–	–	+	–	–	–
		Congestion	++			+++	++		+	++	+
Initial observation just after explosion*			N	N	N	N	N	N	N	N	N
Damage index			3	3	3	3	2	3	3	3	3
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 6.21 Kg/cm, Ef : 39.1 J/m2								

(continued)

Type of explosion source and distance from explosion point			CCR×1—1.5m								
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9
Body Length (cm)			15.8	13.8	14.5	14.8	14.8	13.0	16.0	13.0	13.4
Body Weigth (gr)			104	82	86	120	94	70	120	70	62
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		Congestion	+	+++	++	++	+++	+	+	+	+++
	Heart	Rupture of sinus venosus	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	Air-bladder	Destruction of tissue	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		Internal haemorrahage	–	–	–	–	–	–	–	–	–
		Congestion	–	–	–	–	–	+	–	–	+
	Kidney	Destruction of tissue	+	–	+	+	+	+	+	+	++
		Congestion		+++							
Initial observation just after explosion*			N	N	N	N	N	N	N	N	SE
Damage index			3	2	3	3	3	4	3	3	5
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 6.18 Kg/cm², Ef : 128 J/m²								

(continued)

Type of explosion source and distance from explosion point			CCR×2—0.5m									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Body Length (cm)			14.0	15.1	16.1	18.2	14.5	16.7	14.0	14.5	13.0	14.5
Body Weigth (gr)			71	90	106	152	81	128	68	80	66	85
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		Congestion	+++	++	+++	++	+++	++	+++	++	+	+++
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	Air-bladder	Destruction of tissue	+	+	+	+	+	+	−	−	−	−
		Internal haemorrhage							−	−	−	−
		Congestion							+	+	−	−
	Kidney	Destruction of tissue	++	++	++	+	++	++	+	+	++	++
		Congestion										
Initial observation just after explosion*			SE	SE	SE	SE	SE	SE	N	N	N	N
Damage index			7	7	7	6	7	7	4	4	4	4
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 12.7 Kg/cm^2, Ef : 673 J/m^2									

Appendix table 4. Symptoms observed on major internal organs (*Sebastiscus marmoratus*)

1. Borehole blasting at Bisan strait (1975)

Exp. number and distance from explosion point			4A—1 (Charge : 240Kg), 28m (St. 1)									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8		
Body Length (cm)			20.0	20.5	13.5	17.0	11.5	15.0	15.0	20.0		
Body Weigth (gr)			400	300	100	210	200	120	180	400		
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−		
		Congestion	−	−	+	+	+	+	+	++		
	Heart	Rupture of sinus venosus	+	−	−	−	−	−	−	−		
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−		
		Internal haemorrahage	−	+	−	−	−	+	+	−		
		Congestion	++		+	+	++			++		
	Kidney	Destruction of tissue	++	+	+	−	+	+	+	+		
		Congestion				+++						
Initial observation just after explosion*			D	SL	SL	SL	SE	SE	SE	SE		
Damage index			7	4	4	3	4	5	5	4		
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 11.7 Kg/cm^2, Ef : 1340 J/m^2									

* D, death on first inspection; SE, seriously injury; SL, slightly injury; N, normal in appearance.

(continued)

Exp. number and distance from explosion point			4A—1 (Charge : 240Kg), 51m (St. 2)									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8		
Body Length (cm)			20.0	17.0	16.0	16.0	15.5	18.0	16.0	16.5		
Body Weigth (gr)			380	270	150	180	170	190	170	180		
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−		
		Congestion	−	++	+	++	−	++	−	++		
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−		
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−		
		Internal haemorrahage	−	+	−	+	+	+	−	−		
		Congestion	−		+				+	+		
	Kidney	Destruction of tissue	−	−	+	−	+	+	−	+		
		Congestion	+++	++		−			++			
Initial observation just after explosion*			N	N	N	N	N	N	N	N		
Damage index			1	4	4	3	4	5	2	4		
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 2.47 Kg/cm^2, Ef : 118 J/m^2									

(continued)

Exp. number and distance from explosion point			4A—1 (Charge : 240Kg), 98m (St. 3)									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Body Length (cm)			14.5	14.5	14.0	14.5	17.0	17.0	18.0	16.5	17.0	17.5
Body Weigth (gr)			115	120	130	160	200	220	220	220	300	280
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		Congestion	+	+	+	−	++	−	++	−	−	+
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		Internal haemorrahage	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		Congestion	−	−	+	−	+	−	−	−	+	−
	Kidney	Destruction of tissue	−	−	−	+	−	−	+	−	+	−
		Congestion	−	−	+++		++	+		−		++
Initial observation just after explosion*			N	N	N	N	N	N	N	N	SL	N
Damage index			1	1	4	2	3	1	3	0	3	2
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 0.55 Kg/cm², Ef : 11.9 J/m²									

(continued)

Exp. number and distance from explosion point			4A—2 (Charge : 480Kg), 47m (St. 2)									
Number of fish			1	2	3	4	5					
Body Length (cm)			18.0	18.0	15.0	14.0	15.0					
Body Weigth (gr)			230	270	140	120	130					
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	−	−					
		Congestion	++	+	+	+	+					
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−					
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−					
		Internal haemorrahage	+	+	+	−	−					
		Congestion				++	++					
	Kidney	Destruction of tissue	++	+	+	+	+					
		Congestion										
Initial observation just after explosion*			SL	SE	SE	N	N					
Damage index			6	5	5	4	4					
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 5.27 Kg/cm², Ef : 352 J/m²									

(continued)

Exp. number and distance from explosion point			4A—2 (Charge : 480Kg), 94m (St. 3)									
Number of fish			1	2	3	4	5	6				
Body Length (cm)			15.5	15.0	14.5	15.5	17.5	17.5				
Body Weigth (gr)			140	130	130	165	170	210				
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−				
		Congestion	+	−	++	+	+	+				
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−				
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−				
		Internal haemorrahage	−	+	++	−	−	−				
		Congestion	++			+	+	−				
	Kidney	Destruction of tissue	−	+	−	+	−	−				
		Congestion	+		+		++	++				
Initial observation just after explosion*			N	SE	SE	SL	N	N				
Damage index			3	4	4	4	3	2				
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 2.63 Kg/cm², Ef : 77.4 J/m²									

(continued)

Exp. number and distance from explosion point			4A—3 (Charge : 720Kg), 29m (St. 1)					4A—3 (Charge : 720Kg), 59m (St. 2)				
Number of fish			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Body Length (cm)			20.0	18.5	18.5	15.0	14.0	12.5	17.5	18.0	11.0	15.0
Body Weigth (gr)			350	250	250	140	125	220	200	205	180	170
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	+	−	−	−	−	−	+	−	−
		Congestion	++		+	++	+	+	+		+	+
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		Internal haemorrahage	+++	+	+	+	+	++	+	++	++	+++
		Congestion										
	Kidney	Destruction of tissue	++	++	++	++	++	++	+	+	++	+
		Congestion										
Initial observation just after explosion*			D	D	D	D	D	D	SL	D	D	D
Damage index			6	7	6	6	6	6	5	6	6	6
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 22.2 Kg/cm², Ef : 4790 J/m²					P : 6.05 Kg/cm², Ef : 652 J/m²				

(continued)

Exp. number and distance from explosion point			4A—3 (Charge : 720Kg) 101m (St. 3)									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Body Length (cm)			22.0	19.0	18.5	16.0	16.0	16.5	16.0	15.0	14.0	14.0
Body Weigth (gr)			400	400	320	190	180	170	190	120	110	100
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−	+	−
		Congestion	−	+	−	+	−	−	+	−		−
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−	−	+
		Internal haemorrhage	++	−	++	−	−	+	−	−	−	
		Congestion		−		+	++		−	−	+	
	Kidney	Destruction of tissue	+	−	−	−	−	+	+	−	−	+
		Congestion		−	++	+	+			+	++	
Initial observation just after explosion*			S L	N	S L	N	N	S L	N	N	N	S L
Damage index			4	1	3	3	2	3	3	1	4	5
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 3.94 Kg/cm², Ef : 263 J/m²									

(continued)

Exp. number and distance from explosion point			4A—4 (Charge : 1,520Kg), 48m (St. 2)									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Body Length (cm)			19.5	18.5	16.5	16.5	16.5	18.0	18.0	15.5	15.5	16.0
Body Weigth (gr)			370	230	205	180	180	170	185	130	130	160
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		Congestion	+	+	++	−	+	−	+	−	++	−
	Heart	Rupture of sinus venosus	+	−	−	−	−	−	−	+	−	−
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		Internal haemorrhage	+++	+	+	+	+	+	+	+	+	++
		Congestion										
	Kidney	Destruction of tissue	+	+	++	+	+	+	+	+	−	+
		Congestion									++	
Initial observation just after explosion*			D	N	D	S L	S L	S E	N	D	N	N
.Damage index			8	5	6	4	5	4	5	7	4	4
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 22.9 Kg/cm², Ef : 5910 J/m²									

(continued)

Exp. number and distance from explosion point			4A—4 (Charge : 1,520Kg), 94m (St. 3)									
Number of fish			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Body Length (cm)			14.5	15.0	16.0	17.0	16.0	16.0	16.5	17.0	20.0	20.5
Body Weigth (gr)			110	120	150	160	150	175	175	200	400	440
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	+	+	−	−	−	−	−	−
		Congestion	+	++			++	−	++	+	+	++
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−	−	−	−
		Internal haemorrahage	−	+	−	−	−	−	++	+++	+	−
		Congestion	++		++	+	+	++				++
	Kidney	Destruction of tissue	+	+	+	−	−	−	+	+	+	−
		Congestion				+	−	++				++
Initial observation just after explosion*			SL	SL	D	SL	N	N	N	D	SE	SE
Damage index			4	5	5	4	2	2	5	5	5	3
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 2.84 Kg/cm^2, Ef : 204 J/m^2									

Appendix table 5. Symptoms observed on major internal organs (*Lateolabrax japonicus*)

1. Underwater dynamite explosion at Gokasho bay (1970)

Exp. number and distance from explosion point			Run 9 (Charge : 5Kg), 20m (St. 2)					Run 9 (Charge : 5Kg), 40m (St. 3)				
Number of fish			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Body Length (cm)			24.5	26.5	26.0	27.5	28.5	25.5	26.0	26.0	27.0	30.5
Body Weigth (gr)			210	280	250	340	310	240	290	270	340	450
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	+	+	++	++	+++	−	+	−	+	−
		Congestion						+		+		+
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	+	−	−	−	−	−	+	−	−
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	+	−	−	−	−	−	−
		Internal haemorrhage										
		Congestion	+	+	++	−	+++	−	−	+	+	+
	Kidney	Destruction of tissue	+++	+++	+++	+++	++	−	−	−	−	−
		Congestion						+	+	+	+	+
Initial observation just after explosion*			Death rate : 2/5					Death rate : 0/5				
Damage index			6	9	7	8	6	2	3	6	4	3
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 30.2 Kg/cm², Ef : 2155 J/m²					P : 14.2 Kg/cm², Ef : 350 J/m²				

* D, death on first inspection ; SE, seriously injury; SL, slightly injury ; N, normal in appearance.

(continued)

Exp. number and distance from explosion point			Run 9 (Charge : 5Kg) 60m (St. 4)			
Number of fish			1	2	3	4
Body Length (cm)			27.0	26.5	28.0	29.5
Body Weigth (gr)			300	280	330	390
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	−	−	−	−
		Congestion	+	−	+	±
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	−
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−
		Internal haemorrhage				
		Congestion	−	−	−	−
	Kidney	Destruction of tissue	−	−	−	−
		Congestion	−	−	−	−
Initial observation just after explosion*			Death rate : 0/4			
Damage index			1	0	1	1
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 9.2 Kg/cm², Ef : 123 J/m²			

2. Borehole blasting at Bisan strait (1975)

(continued)

Exp. number and distance from explosion point			4A—1 (Charge : 240Kg) 28m (St. 1)				4A—1 (Charge : 240Kg) 51m (St. 2)			4A—3 (Charge : 720Kg) 29m (St. 1)		
Number of fish			1	2	3	4	1	2	3	1	2	3
Body Length (cm)			33.0	35.0	40.0	26.0	33.0	33.0	36.0	28.0	33.0	32.0
Body Weigth (gr)			580	560	900	—	620	580	720	310	420	420
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	—	—		+	—	—	—	—	—	+
		Congestion	+	++			+	+	—	+	+	
	Heart	Rupture of sinus venosus	—	—	—	+	—	—	—	—	+	—
	Air-bladder	Destruction of tissue	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		Internal haemorrahage	+	++	+	++	—	+	—	++	+	+
		Congestion					+		++			
	Kidney	Destruction of tissue	+	++	++	++	—	—	—	++	+++	++
		Congestion					—	+	—			
Initial observation just after explosion*			SE	SE	SE	D	N	N	N	D	D	D
Damage index			5	6	8	10	2	4	1	6	9	7
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 11.7 Kg/cm², Ef : 1340 J/m²				P : 2.5 Kg/cm², Ef : 118 J/m²			P : 22.2 Kg/cm², Ef : 4790 J/m²		

(continued)

Exp. number and distance from explosion point			4A—3 (Charge : 720Kg) 59m (St. 2)			4A—3 (Charge : 720Kg) 101m (St. 3)						
Number of fish			1	2	3	1	2	3	4			
Body Length (cm)			35.0	30.0	33.0	30.5	28.0	35.0	40.0			
Body Weigth (gr)			710	450	460	370	390	560	780			
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	—	+	—	—	++	—	—			
		Congestion	+		+	+		+	+			
	Heart	Rupture of sinus venosus	—	—	—	—	—	—	—			
	Air-bladder	Destruction of tissue	—	—	—	—	—	—	—			
		Internal haemorrahage	++	+	+	—	—	+	—			
		Congestion				+	+		++			
	Kidney	Destruction of tissue	+	+	—	+	+	—	—			
		Congestion			+			—	—			
Initial observation just after explosion*			SE	SE	SE	SE	SE	SE	SL			
Damage index			5	6	4	4	6	4	2			
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 6.05 Kg/cm², Ef : 652 J/m²			P : 3.94 Kg/cm², Ef : 263J/m²						

(continued)

Exp. number and distance from explosion point			4A—4 (Charge : 1,520Kg) 48m (St. 2)				4A—4 (Charge : 1,520Kg) 94m (St. 3)					
Number of fish			1	2	3	4	1	2	3			
Body Length (cm)			41.0	41.0	35.5	38.0	36.0	39.5	34.0			
Body Weigth (gr)			815	905	580	515	770	750	530			
Symptom observed	Liver	Destruction of tissue	+	+	−	++	−	−	−			
		Congestion			+		+++	++	−			
	Heart	Rupture of sinus venosus	−	−	−	+	−	−	−			
	Air-bladder	Destruction of tissue	−	−	−	−	−	−	−			
		Internal haemorrahage	−	−	−	+++	−	−	−			
		Congestion	+++	++	+		++	+	+			
	Kidney	Destruction of tissue	++	+	+	+	−	−	−			
		Congestion					−	−	−			
Initial observation just after explosion*			S E	S L	S E	D	N	S L	N			
Damage index			6	5	4	10	3	2	1			
Peak pressure (P) and energy flux density (Ef)			P : 22.9 Kg/cm², Ef : 5910 J/m²				P : 2.84 Kg/cm², Ef : 204 J/m²					

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (9) 67～75 (1976)

摂餌行動記録器に関する予備実験

石　岡　宏　子

A Preliminary Experiment on the Feeding Activity Recorder of the Fish

Hiroko Ishioka

A simple method for recording the feeding activity of the fish was examined. The apparatus for the recording consists of three parts, food reservoir, detector and recorder. When the fish peck the food in the food reservoir suspended in the aquarium by stainless steel stalk, the stimulus is recorded automatically on the recorder.

In the case of red sea bream, *Chrysophrys major* Temminck et Schlegel, the stimulus of pecking by the fish, 2cm in body length, was recorded at the rate of about 50% and that of the fish, 5cm in body length, was recorded at the rate of over 90%.

On the type of food reservoir, a wire netting box which can be pecked from side, a dish type box pecked from above and a hook type of reservoir were compared on the performance and it was appeared that the former two types were useful.

When fish were put in an aquqrium in a group, false number of records were increased because of the behavior of territory defence and that of touching to the stalk and etc., although the relation between the recorded number of feeding activity (Y) and of the observed one (X) was given as a poitive regression line.

$$Y=1.414X+11.197 \qquad r=0.925$$

It is proved that this apparatus can be used for recording the changes of feeding activity with the difference of environmental factors and foods in short and long term period.

各種の魚についての摂餌行動の観察は，それぞれの魚種の生態学的，あるいは，生理学的観点から，数多くの報告がなされている。しかし，そのために用いられた方法の多くは，魚をとりあげて，胃内容物を調べることによって得られたものであり，一部に肉眼観察[1]，カメラによる観察[2)3)4]，摂餌行動記録器[5)6]によるものなどがみられる。それらはそれぞれ目的に応じて使用すればよいが，これらのうち摂餌行動記録器の利用は長期間，グループとしての摂餌行動の傾向を観察したり，外部環境条件と摂餌行動の間の関係を求めたり，また，餌料に対する魚の反応をみる場合などには，非常に有効な手段であると考えられる。

このために，摂餌行動記録器は，いくつか考案されており，魚の摂餌の周期性の検討や条件反射実験等，主に生態学的研究分野で使用された[5)6]。

本報では新しく試作した摂餌行動記録器* について，マダイを用いて，その使用可能性を検討したので，その結果を報告する。

1976年9月8日受理　南西海区水産研究所業績59号
摂餌行動記録器は，香川精機K.K.（広島市大手町3－1－7）によって試作された。

原稿作製にあたり，本論文の校閲をいただいた，淡水区水産研究所，藤谷超博士，鹿児島大学水産学部，平田八郎博士に，また写真撮影に御協力いただいた南西海区水産研究所福原修技官に深謝の意を表する．

材　料　と　方　法

1.　摂餌行動記録器の構造について

試作した摂餌行動記録器の外観図と記録例は，Fig.1 に，その原理を Fig.2 に示す。

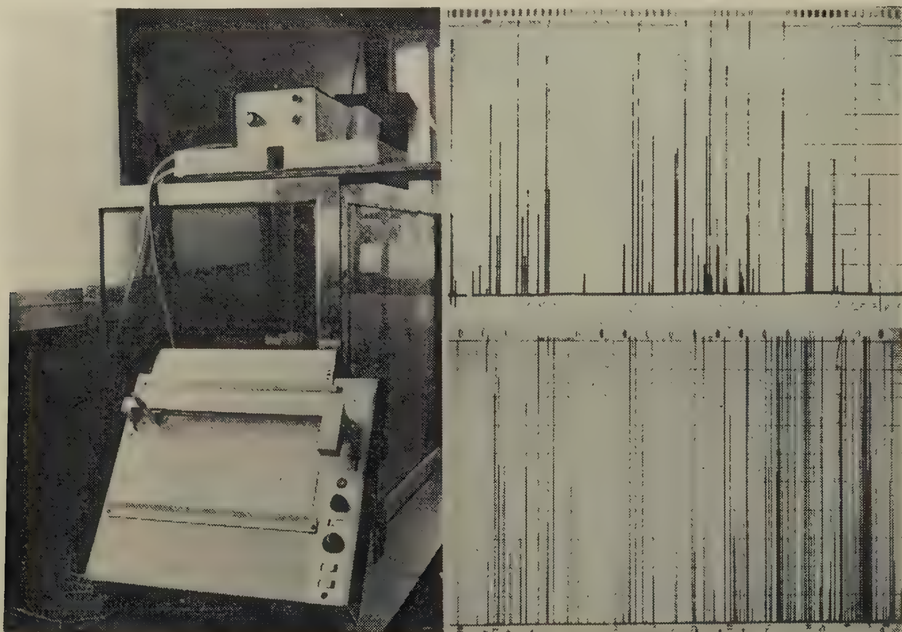


Fig. 1. Feeding activity recorder and examples of records.

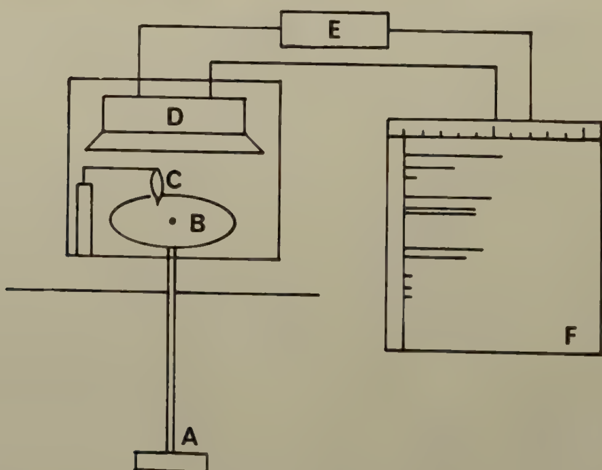


Fig. 2. A schematic diagram of the feeding activity recorder.
A: Food Reservoir　B: Ground Glass Plate　C: Sapphire Needle
D: Amplifier　E: A. C. Power Source　F: Recorder

これらの図にも明らかなように，この摂餌行動記録器は，魚の摂餌（つつき）の振動を，ステンレス棒を通して，その上に固着されているスリガラス板に伝える。このスリガラス板上には，サファイア針が固定してあり，その振動は，ここで，電気信号に変換され増幅器を通して，記録計に入り Fig. 1 に示したように俸グラフ状に記録される。記録紙の線の高さは，餌をつついた強さに対応するものである。記録計の形式は，どのような種類のものでもよいが，応答速度が速いことが必要条件である。また，入力に関しては，1 mv から2 v くらいまで可変できることが望ましい。

この摂餌行動記録器は Fig. 1 に示すように，コンパクトであり，使用する場合，水槽の上に固定用の板を置き，その板の間にステンレス棒を通し，その下方部の先端に，餌受器をつける。別の一端を検出器に接続しこの検出器の一端を記録計に接続し，作動させる。

2. 餌受器の種類と魚体長と摂餌行動記録の関係について

餌受器として Fig. 3 に示すように，4種類の形状のものを準備し，これを検出器に接続した。1型，2型は，ステンレス製の籠型であり，前者の網目は後者にくらべて非常に細かい。3型は皿型であり，抵抗を大きくするために間仕切りやステンレス製の縁蓋をとりつけた。4型はつり針型である。

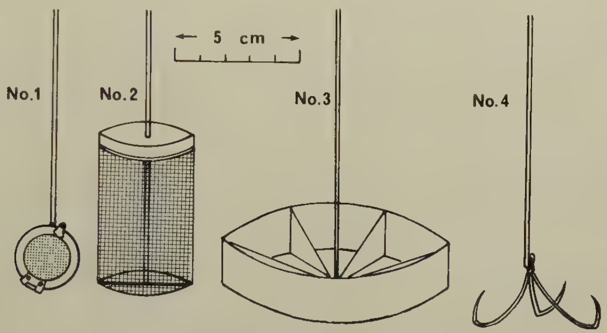


Fig. 3. Types of food reservoir.
No. 1: Small Wire Netting Box　　No. 2: Wire Netting Box
No. 3: Dish Type　　No. 4: Hook Type

餌料は，雑エビむき身であり，1型，2型の場合には，ステンレス金網の内側から餌をすりつけて，外側表面に餌が飛出るように附着させ，3型の場合には，皿の中に細切して置き，4型の場合には針先に大きめの餌をさした。

水槽にマダイ（体長2cm～6cm）を1尾づつ入れ，1尾の魚について，各種の餌受器による投餌を行なった。摂餌行動記録器に，魚の摂餌行動を記録させると同時に魚の行動を肉眼観察し，1分毎に摂餌行動回数を記録し，記録値との比較を行なった。観察実験終了後，魚を取り上げて，体長，体重を測定した。

3. 水槽に2尾以上収容した場合の摂餌行動と記録値と摂餌量との関係について

200ℓ容，角型水槽に個体識別の可能なマダイ，3～4尾を同時に収容し，記録計に示される記録値が，どの魚の反応によるものかを観察し記入した。実験魚は，実験直前24時間投餌せず，実験開始1時間後，全魚をとり上げ，体長，体重を測定し，ただちに解剖し，消化管を取り出し，胃部分が底部に付着するように，ポリ試験管に入れた。その上部に，魚体残部を入れ，実験餌料中に予め混入した $^{59}FeCl_3$ の γ 線をウェル型シンチレーションカウンター（DDS―1403. 東芝製）によって測定し，この値より摂餌量を概算した。餌料組成は，下記の通りである。

ゼラチン粉末	2.5g
$^{59}FeCl_3$ 含有蒸留水	15mℓ（0.1mci/100mℓ）
マダイ用配合餌料粉末	20g

カキ，エキストラクト　　　　10mℓ

摂餌行動記録器には，籠型の餌受器では，摂餌が十分に行なわれないことも考えられたので，本実験の場合には，すべて皿型餌受器を採用した。

なお，使用したマダイ稚魚の大きさは，体長4.5cmから11.5cmの範囲内のものである。

結　　　果

摂餌行動記録器によって記録された摂餌行動回数と，観察回数をそれぞれ1分間毎に集計し，二項分布に基ずいた合致率（正答率）Pを次式により求めた。

$$P=\frac{\Sigma B}{\Sigma n A}$$

n：観察による1分間当りの摂餌行動回数

x：摂餌行動記録器に記録される可能回数

A：xの実測値

B：$x\times A$

この結果を，体長別，餌受器の種類別に分けて合致率を示したものが Table 1 である。この表で明らか

Table 1. The rate of concurrence in recorded feeding acrivity with observed one.

Type of Food Reservoir / Body Length (cm)	No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
2 — 3	0.524	0.634	0.214	0.552
3 — 4	0.649	0.651	0.700	0.542
4 — 5	0.842	0.942	0.615	—
5 — 6	0.85	0.989	0.889	0.917

なように，体長が小さい個体の合致率は，比較的低い傾向にあり成長に伴って，つつきの力が強くなり，合致率も高くなる。また，摂餌による“つつき方”が力の方向として水平にかかり易い構造のものが，“記録落とし”がなく，合致率が高いという傾向も示している。従って，横側からつつくことのできない皿型餌受器の値は，特につつく力の弱い魚で安定しない。4型の釣針型の値が，期待していたほどでないのは，観察の範囲では，魚が餌受器に慣れにくいため，データ数が少ないことによるものと考えられた。しかし，この釣針型の餌受器の場合には，魚が摂餌する際，“くいちぎる”という行動になるため，一回の反応に対して，餌受器が大きくゆれ動き，数回の記録として示される場合があり，また，極端な場合には餌受器がはずれてしまうこともあった。このため，この型は，不適当だと判断した。

観察の結果から，合致率は，体長5cm以上の場合には，かなり高く，ほぼ安定した結果をうることができる。魚のつつき方による差はあっても，リレー式のタイプにみられるような“つつき”の方向性に関しての問題はないことも，観察結果から確認された。

さらに，この摂餌行動記録器の性能を知るために，正答数が，一分間あたりのつつき回数の多少によって差を生じるか否かについて，分割表によるχ^2検定を行なった。つつき回数は，原則として，1～5回，5～10回，11～15回，15回以上に区分したが，データの少ない場合には，多少の変更を行なった。なお，きわめて数の少ない場合には Yates の補正を行なって計算した。

先の実験給果によって得られた有効体長（５cm）の魚の場合について，２型，３型の餌受器では単位時間あたりのつつき回数による差はあっても，合致率に，差があるとはいえない。

２型の場合，$\chi^2=4.86 < \chi^2(2, 0.05)=5.99$

３型の場合，$\chi^2=0.3485 < \chi^2(1, 0.05)=3.84$

この問題は，主に，記録計の反応速度との関係が大きいが，個体実験に関しては，単位時間当りの回数が15回/min くらいであれば，記録計に示される正答数は，ほぼ一定の確率で，正しく記録されるものと考えられた。

アイソトープ混入餌料を皿型餌受器に入れ，摂餌行動の観察を行なった結果を，Table 2 に示す。ここで

Table 2. Relationship between frequency of the feeding activity and the amount of food intake calculated by labeled ferric chloride ($^{59}FeCl_3$) mixed in the food.

Number of Experiment	Recorded Frequency of Feeding Activity*	Observed Frequency of Feeding Activity*	Error (%)	Total Amount of Food Intake (mg)
1	53	42	20.8	86.7
2	122	89	27.0	11.6
3	118	71	39.8	7.6
4	15	1	93.3	5.0
5	98	71	27.6	45.0
6	81	33	59.3	5.8
7	95	35	63.2	11.4
8	17	13	23.5	8.6
9	173	103	40.5	483.5
10	71	53	25.4	628.6
11	81	42	48.1	36.2
12	59	36	39.0	168.2
13	31	25	19.4	264.2

* Pecking actions during experimental period (approximately 1hr.).

明らかなように，群を構成した場合にも，記録値と，観察結果の間には，次式のほぼ直線的な相関々係が得られた。

$Y=1.414X+11.197$ （$r=0.925$）

X：観察による１分間当りの摂餌行動回数

Y：摂餌行動記録器の記録値

しかし，この群を構成した場合には，全体的に，記録値が，観察値を大きく上まわっているのが特徴である。この原因は，“つつき”行動を示しても，金具に対する一種の遊びがある場合や，摂餌しないで餌受器の周囲に位置した個体が，なわばり的行動をとり，この急激な水流の動きが，記録されてしまうなどの観察によって説明されるようである。どのような構成のグループに，どのような特徴の餌を中心とした行動が観察されるかは，未だ明らかではない。

また，Table 2 に明らかなように，記録値や，摂餌行動観察回数と，摂餌量の間には，一定の関係を得ることはできなかった。これは，餌を“つつき”出す行動をした魚が，それを下に落したり，水槽内の別の場所ではき出したり，また，それらを他の個体が摂餌したりということが，しばしば観察され，摂餌行動は行なわれ，記録もされるが，餌が胃内に入っていないケースが多いことから説明できるようである。これは，特に配合餌料の場合に顕著であるらしい。

群の場合にも、個体の場合と同じように、ノイズの割合は高いとしても、比較的に魚の摂餌行動が記録計上に記録されるが、魚自身の持つ特性として記録数に影響する要因があれば、これを考慮に入れておかなければならない。魚の場合には、成長に伴なって、種特有の日周期性が顕著になることは、よく知られている。そこで、マダイの場合の特徴が明確に記録されるか否かの確認のため外部刺激の少ない夜間の連続記録を採取した。その数例を、Fig. 4に示す。この場合は、全体の摂餌行動周期をみるために、摂餌行動記録器

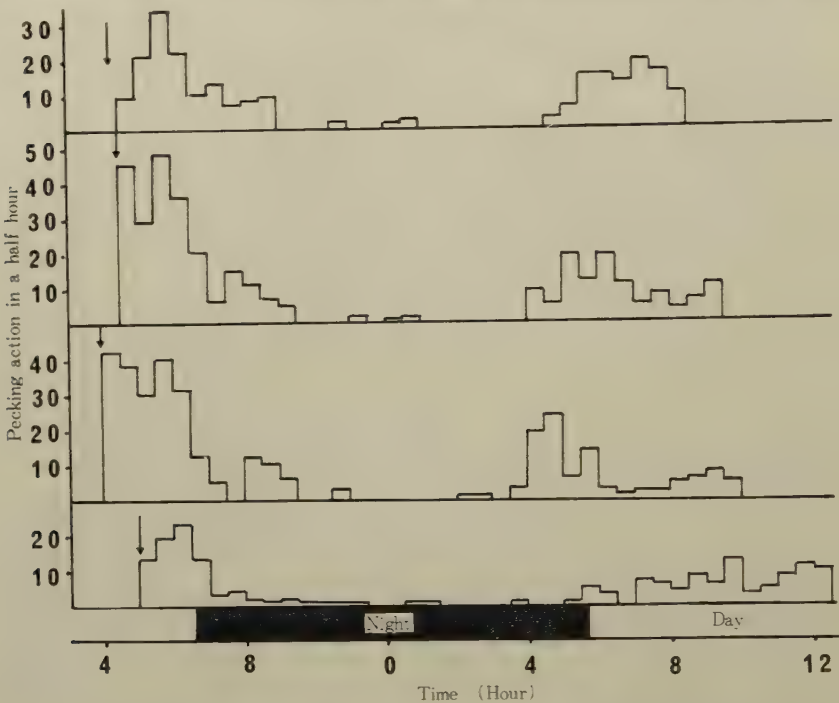


Fig. 4. Examples of the diurnal rhythm recorded in red sea bream.

の感度を落し、かなり強い反応のみを拾うように設定し，30分毎に集計した。この結果、マダイでは、体長5㎝以上になると、日没、日出前後の摂餌行動が活発であるが、同時に投餌の影響もはっきり示されており，完全に自立的な日周期というよりも、やや、給餌依存型摂餌周期を持つという点が示されている。この摂餌行動のパターンは，比較的安定している点も確認される。

また，大きな日周期とは別に、この日周期の中に含まれる変動が，小周期として、検出される場合がある。これらの変動は，餌料の種類，投餌時間，餌料への慣れ，グループの構成などによって、変化するものであり，実験の目的によっては，この変動の解析に重点が置かれる場合もあり得る。この一例を，Fig. 5に示す。この図では，それぞれのグループの中の各個体の摂餌行動頻度が示されており，A，B共に同じグループで餌料が異なる場合である。Bは，生ガキ細片を与え，Aはアイソトープ混入配合餌料の場合である。Bの場合には，摂餌行動を示す時間帯は短かく，その時間帯のうちに3尾が同時に摂餌しているため，記録計の値としては，変動が強調されて，一種の小周期を形成する。これに反して、Aの場合には，1尾の個体が，長時間にわたって、摂餌行動を示し，小周期としては，表わされにくい傾向にある。実験の各グループを生カキ餌料，配合餌料区と分けて，経過時間に対して摂餌尾数の出現を分布の型でみると，前者は，ポリヤ・エッケンソベルガー分布に，後者は，ポワッソン分布に近似させてよく合う場合が多い。これらに関しては，さらに実験例を増し，一般化できるかどうかを検討する予定であるが，この例のように，変動が，増

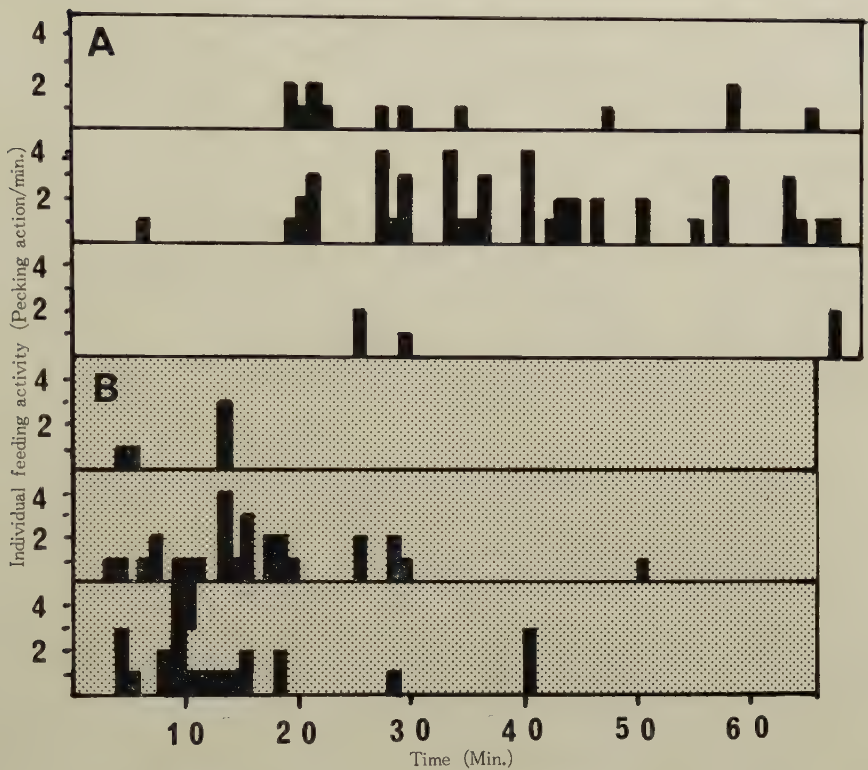


Fig. 5. Individual feeding activity in a group.*
A : A group examined with artificial diet
B : A group examined with oyster pieces
* A same group of fish are utilized for both examinations, A&B.

幅されたり，消去されたりする可能性があるため，短期間の実験では特に，実験条件の吟味は十分に行なわなければならない。

考　　察

魚の“つつき”の現象は，比較的観察しやすく，摂餌生態に関心を抱く人は，それぞれの観点から，その行動をとらえ，各種の魚種についての報告を行なっている[1)7)]。また，この現象は比較的単純であるため，観察記録の機械化も考え易い。岡部，黒木らは，この点をペーパー・ストレンゲージを利用することによって，平田は，水銀を用いたリレーや接電管によって解決している[5)6)7)]。今回の方式は，リレー方式の平田らのものと基本的には似ている。しかし，リレー方式では，“つつき”の方向性や微小な力に対する反応についての懸念があるため，また，接電管の場合には，その感度の面で器差が生じやすいと考えられたところから，今回の摂餌行動記録器が考案されたものである。これでは，“つつき”という機械的な力を電気信号に変換する検出部によって，上述の方向性および，微少な反応の拾い上げをはかったのであるが，同時に，この反応の大きさを電気的に変換し記録させる時点で，ノイズの選別，消去等も，可能ではないかと考えた。この前半の目的に関しては，実験結果から明らかなように，必らずしも十分とはいえないまでもほぼ達成されたと考えられる。すなわち，体長5㎝以上のマダイについては，観察された“つつき”と記録数の合致率は非常に高いからである。感度を上げることによって，体長2㎝台の魚の反応も記録しうることを確認した

が，この場合のように，記録精度を上げると，ノイズの問題が複雑となる。

具体的に観察された結果から，記録計に示されたノイズが，どのような要素によって成立しているかを考えると，次の３点に分類される。

(1) 全く無関係な外部雑音

(2) 飼育設備に由来する要因

(3) 実験生物に由来する要因

(1)の外部雑音とは，工事現場の掘削音や，ジェット機音等であり，排除が困難なことが多い。この事象の起っている部分は，データとしては全く利用できない。しかし，この種の雑音は記録されるパターンによって雑音として識別できる場合が多いので，全部，削除することは困難ではない。

(2)の飼育設備からの要因として明らかなものは，記録器の感度を上げた場合に，水流や，エアレーションによる震動を拾うことなどがあげられる。これは，摂餌行動記録器の感度を落すか，あるいは，流水量，通気量を調整することによって，除くことができる。

３種類のノイズの中で，一番問題になるのは，(3)に挙げた，実験対象魚による生物学的ノイズである。

魚が関与するノイズとしては，先に述べたように，餌受器に対する"あそび"的行動に由来するもの，なわばり的行動に由来するもの，体長が大きくなると，旋回する際の尾部の動きによる水流変化に由来するものなどがあげられる。これらをノイズと考えると，その出現率は，各個体毎に０から90％におよぶ，ばらつきが算出される。このノイズ出現率の大小と，個体の特性，群中での位置関係などについて，一定の関係は得られていない。

これら生物学的ノイズは，この摂餌行動記録器の性質上，分別できないものであり，機械的な操作によっては除くことはできない。設置場所を工夫することによって，このノイズを多少は，抑えることはできるが，この生物学的ノイズは広い意味で摂餌行動の一環とみなすのが妥当と考えられる。しかし，実験目的によって，この生物学的ノイズ出現率の高い群の使用をさけねばならない場合には，あらかじめ，実験対象群の選択をする必要があろう。

この生物学的ノイズの解析は，一方で，生態学研究の中に含まれる問題である。

以上の摂餌行動記録器の特性を総合して考えると，この試作した機首を使用するにあたっては，種に特有な生態的条件を考えあわせて，目的，計画の設定をする必要があろう。

要　　　約

マダイの摂餌行動の観察のため，摂餌行動記録器を試作した。マダイが餌をつつく行動は，振動としてステンレス棒に伝わり，その上に固着してあるスリガラス板を振動させる。その板上には，サファイア針がのせてあり，ここで，振動を，電気信号に換え，記録計に記録する方式をとっている。

この摂餌行動記録器を使用するために若干の実験を行なって基礎的な知見を得ることができた。その方法は，肉眼観察記録と器械の記録値の比較によるものである。

(1) この摂餌行動記録器は，マダイで体長２cm位の個体の"つつき"の力を記録することが出来るが，安定して使用できるのは，体長５cm以上の個体に関するものである。５cm以上の個体では，約90％の確率で，摂餌行動を記録することが明らかとなった。また，１分間当り15回前後のつつき回数であれば，その多少にかかわらず，ほぼ等しい確率で摂餌行動数が記録されると判断された。

(2) この摂餌行動記録器につける餌受器に関して金網型，皿型，釣針型をそれぞれ検討し，金網型（横側から摂餌できる型）が，最も良好であった。しかし，皿型（上から摂餌させる型）も利用可能であることが明らかになった。

(3) ２尾以上の魚を収容した場合にも，個体の場合と同じく摂餌行動回数と，記録数の間に直線的な相関々係が認められ，次式が得られた。

$$Y = 1.414X + 11.197 \quad (r = 0.925)$$

X：観察による1分間当りの摂餌行動回数

Y：摂餌行動記録器の記録値

この式で明らかなように，魚が群を構成すると，摂餌行動以外の要因による記録値の出現率が高い傾向が認められた。これは，魚の餌受器に対する "あそび" 行動，なわばり的行動などの生態学的理由によるものが含まれるためであり，これらは広い意味で，摂餌行動の一環として考えることが摂餌生態のうえからも妥当であると考えられた。

また，配合飼料中に混入した $^{59}FeCl_3$ の γ 線測定によって得られた摂餌量と摂餌行動記録回数の間には，短時間内（1時間）の比較で相関々係を得ることができなかった。

(4) この器械を長期間作動させることによって摂餌に関する魚の日周期が得られるが，マダイの場合は，やや，給餌依存型の明りょうな日周期が得られた。また，小グループ構成の場合に，短時間内に，摂餌周期のごときものが検出される場合や，個体の摂餌周期が相殺される場合などがあり，実験計画，結果の解析については，考慮する必要がある。

文　献

1) Kawamura, G., & Y. Kawashima, 1973: Tank Experiment on the Biting Behavior of Fish in Response to the Inedible Lure Permeated with the Extract of Food. Mem. Fac. Fish., Kagoshima Univ., 22(1), 143–146.

2) Hunter, J. R., 1968: Effects of Light on Schooling and Feeding of Jack Mackerel, *Trachurus symmetricus*. J. Fish. Res. Bd. Canada, 25(2), 393–407.

3) Olst, J.C., & J.R. Hunter, 1970: Some Aspects of the Organization of Fish Schools. Ibid, 27(7), 1225–1238.

4) Symons, P.E.K., 1971: Estimating Distances Between Fish Schooling in an Aquarium. Ibid, 28(11), 1805–1806.

5) Kobayashi, S., R. Yuki, & H. Hirata, 1956: A PRELIMINARY TEST FOR RECORDING THE FEEDING ACTIVITY IN FISH. Bull. Fish. Hokkaido Univ., (6), 235–238.

6) 山岸　宏・古田能久・福原晴夫，1976：水界生物生態研究法 I，190p.p，共立出版株式会社.

7) 平田八郎，1973：魚類，特に金魚 *Carassius auratus* (Linne) の索餌日周活動に関する研究，鹿大水紀要，22(2)，1—48.

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (9) 77～82 (1976)

貝類浮游幼生の海水中の懸濁油分の取り込みとその斃死に及ぼす影響

梅沢　　敏・福原　　修・阪口清次

Ingestion of Suspended Oil Particles and the Influences on Mortality in the Molluscan Larvae

Satoshi UMEZAWA, Osamu FUKUHARA and Seiji SAKAGUCHI

The larvae of oyster, *Crassostrea gigas*, and mussel, *Mytilus* spp. obtained from nature, were kept in seawaters in which different concentrations of oil droplets were added to examine the ingestion of the suspended oil droplets and its influences on mortality in these molluscan larvae. The experimental media were prepared by dilution of the original oil-seawater mixture made by homogenizing 10g of TC oil in one liter of filtered seawater.

The percentage of the larvae with ingested oil droplets and the diameter of the oil droplets in the stomach of each larvae became greater according to increase of oil droplets concentration with experimental medium. The greater the concentration of oil droplets in the medium the higher was the mortality rate among the experimental larvae.

An evidence was obtained that the ingestion and subsequent cohesion of oil droplets was the main cause of their mortality. It was observed that the molluscan larvae, unlike *Tigriopus* and *Brachionus*, were not able to excrude oil droplets ingested in their stomach.

船舶からの廃油投棄，タンカーや陸上貯蔵庫からの原油の流出事故などによる海洋汚染が起った場合は，沿岸漁業や魚貝藻の養殖に大きな被害をもたらす。とくに，それが閉鎖水域で発生した場合には，被害は長期間に及ぶ。このような事故にさいしての生物に及ぼす影響調査は，主として養殖魚や漁業対象生物などの産業的に有用な種類について緊急的に対処している傾向が強く，底棲生物や浮游生物などに与える影響の調査はあまり多くなされていない。

著者らは，水島重油流出事故の魚貝類等環境影響調査の一環として，とくに貝類浮游幼生に及ぼす懸濁油分の影響を検討するために実験をおこなった。その結果，貝類浮游幼生による懸濁油分の取り込みについて興味ある若干の知見を得たので報告する。

なお，稿を草するにあたり，海水中の油分濃度の測定について労を煩わせた当所漁場保全研究室山田　久技官に感謝する。また，指導と校閲をいただいた当所増殖部長斉藤雄之助博士，内海資源部倉田　博博士に深謝する。

材料および方法

供試した浮游幼生は，広島県佐伯郡大野町丸石地先でネット採集した浮游生物のなかから貝類浮游幼生だけを取り出し，一昼夜沪過海水中で飼育した後に使用した。査定された種類はマガキ *Crassostrea gigas*，ナ

1976年9月8日受理　南西海区水産研究所業績60号

ミマガシワ *Anomia chinensis*, フナクイムシ *Teredo navalis japonica*, イガイ類 Mytilidae, アカガイ類 Areidae, の幼生であった。1975年８月下旬から９月上旬にかけての期間中では，マガキとイガイ類が優先種となっていた。実験はこのマガキとイガイ類について実施した。

使用した油は脱硫ＴＣ油で，三菱石油水島製油所から提供されたものである。実験にさいしては沪過海水１ℓに対し脱硫ＴＣ油10ｇを添加し，ミキサーで約20分間攪拌し，２時間静置した後に下層⅔程度の海水をサイホンで静かに採水して原液とし，これを適宜稀釈したものを使用した。海水中の油分濃度は赤外線分光光度計（堀場ＯＣＭＡ—100型）によって測定した。

実験は 500*ml* ビーカーに，それぞれの油分濃度に稀釈した油分懸濁海水を 300*ml* 用意し，時計皿の底に集めた浮游幼生の適当量を海水とともに数滴あてピペットでとりただちに収容した。24時間経過の後に通常の沪過海水に戻した後，さらに24時間おきに，１回について30個体以上が観察できるように幼生を取り出し，その全個体について繊毛運動の有無を検鏡し生死を判定した。実験中は幼生に対し給餌はおこなわず，少量（30*ml*/min）の通気をおこなった。

結　　　果

原液の懸濁油分濃度は各実験の調整毎に異なるが，ほぼ 250〜350ppm の範囲にあった。懸濁油分は時間経過にともなって海水の表面に被膜をつくり，海水中の懸濁油分濃度は急激に減少する。一例を Fig. 1 に示した。実験開始時の285ppm に対し，３時間後で32%，12時間後で18%，24時間後では６%までに減少した。

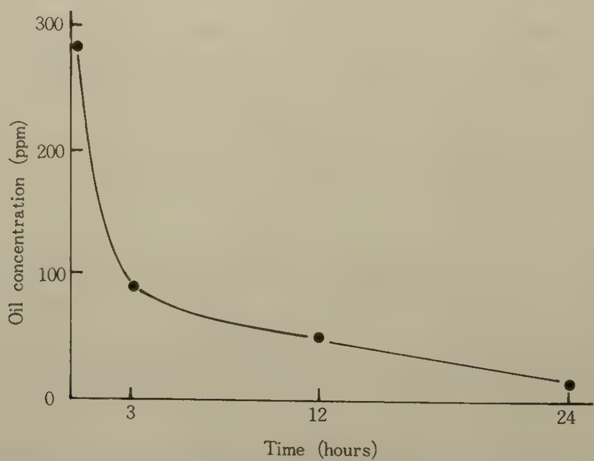


Fig. 1. A trend of decrease of oil concentration in the experimental medium.

１）懸濁油分濃度の違いによる幼生斃死率の変化

原液（Ａ区），２倍稀釈液（Ｂ区），４倍稀釈液（Ｃ区），および沪過海水（Ｄ区，対照）の４区にそれぞれマガキ，イガイ類の貝類浮游幼生をただちに収容し，24時間おきに観察した幼生の斃死率を Fig. 2 に示した。実験開始24時間後の観察では，各区とも斃死個体はみられなかったが，48時間以後は対照区と他の３区の間に明らかな差が認められた。すなわち，マガキでは48時間後に対照区を除いた各区で50%前後の斃死率を示した。Ｂ区・Ｃ区ではその後も48時間後の斃死率とほぼ同様であるが，Ａ区では斃死する個体が時間経過とともに増加し，93時間後では約90%に達している。イガイ類については，マガキよりも全体的にやや低い斃死率を示している。Ａ区では93時間後に80%を越える個体が斃死している。マガキ・イガイ類の浮游幼

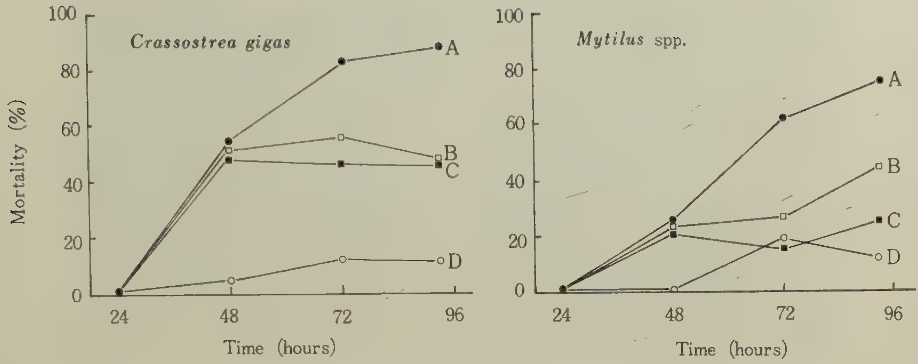


Fig. 2. Mortality among the experimental larvae within 93 hours after immersion. Concentrations of oil are : A, original level ; B, ½ of original; C, ¼ of original and D, none (control).

生の斃死率は懸濁油分の濃度が増すにつれて時間経過とともに高くなることが明らかである。

2）油滴の取り込みの有無による幼生の斃死率の違い

油分懸濁海水中に収容した貝類の浮游幼生は，胃中に油滴を有している個体と，それがほとんど認められない個体が観察された。顕微鏡下での詳細な観察の結果，胃中の油滴の有無と幼生の斃死に関係があるように考えられた。幼生が油滴を取り込んでいるかどうかによって区分したうえで懸濁油分濃度別に経過時間と斃死率との関係を示したのが Fig. 3 である。マガキ，イガイ類とも油滴を胃中に取り込んでいる群は，取り込んでいない群よりも斃死率がきわめて高い。油滴を取り込んでいない個体の斃死率は93時間後でも各区で30％以下となっているのに対し，油滴を有している個体では，48時間後で各区とも60％を越える斃死率を示し，93時間後にはA区でマガキ，イガイ類ともに全個体が斃死している。このことから貝類幼生は胃中に油滴を取り込んだ場合には斃死するに至ると判断される。A区では油滴を取り込んでいない個体についても斃死率が高くなっているが，これは油分の可溶性成分が影響した可能性もあるが明らかではない。

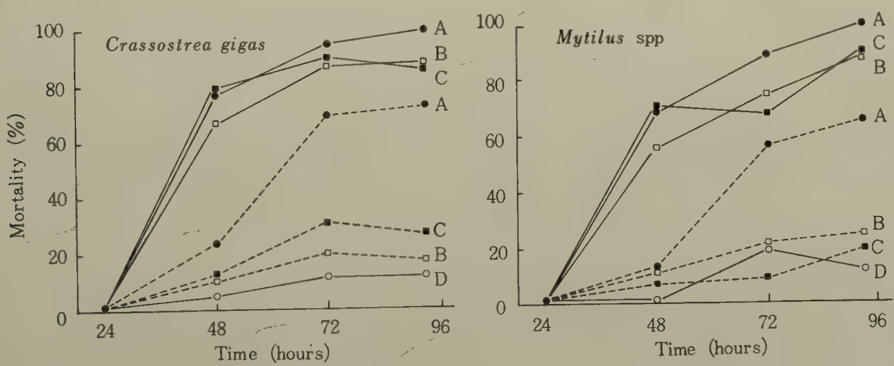


Fig. 3. Variation of mortality among the larvae with (solid line) or without (closed line) oil droplets ingested in their stomach.

3）懸濁油分濃度と油滴の取り込みとの関係

懸濁油分を含む海水中に収容した幼生を継続的に観察すると，面盤の繊毛によって海水中に懸濁している数μの小油滴を体内に取り込み，食道の繊毛運動で胃に送り込む。胃中では繊毛運動で小油滴は盛んに回転

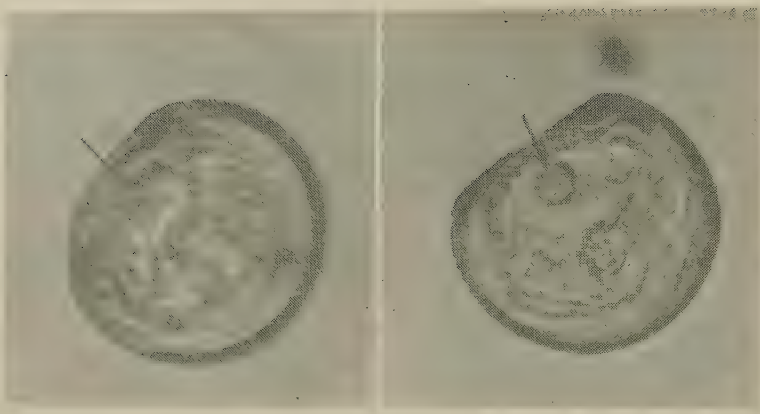


Fig. 4. Photographs of D-shape larvae of oyster showing the oil droplets in their stomach. In one larva (left) several oil droplets can be found while in the other (right) these are gathered up to one droplet.

し，次第に結合して，Fig. 4 にみられるように大きくなり胃中に充満する。

ここでは油分濃度の違いによって，胃中に油滴を取り込む個体の出現率のちがいを検討するため，原液（A区），およびその5倍（E区），10倍（F区），20倍（G区），40倍(H区)，80倍（I区），160倍（J区），320倍（K区）に稀釈した各油分懸濁海水中に貝類浮游幼生を収容し，24時間後における幼生の胃中に油滴を有する率を調べた結果を Fig. 5 に示した。懸濁油分濃度が高いほど油滴を取り込む幼生の個体数は多くなる傾向が明らかにみられる。この場合の実験開始時における原液の油分濃度は340ppmであるが，5倍稀釈のE区では50%以上の個体が胃中に油滴を有しており，低濃度区のI・J・K区においても数%の個体は油滴を有している。

胃中の油滴の直径を幼生の殻幅に対する割合（油滴の直径／幼生の殻幅×100）で示すと，Fig. 6 に示したように懸濁油分濃度が高いほど幼生の有する油滴は大きい。K区では胃中の油滴の直径は殻幅に対し平均10%程度であるが，懸濁油分濃度が高くなるにつれて油滴の殻幅に対する割合も大きく，原液であるA区で

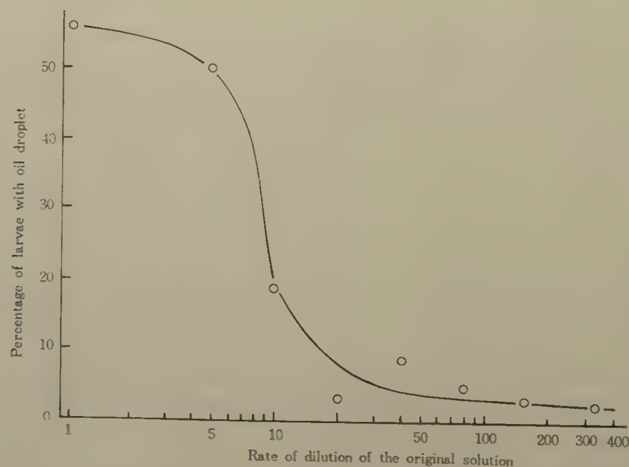


Fig. 5. Relation between oil concentration and percentage of larvae with oil droplet in the stomach at 24 hours after immersion. Oil concentration of original medium was 340.5 ppm.

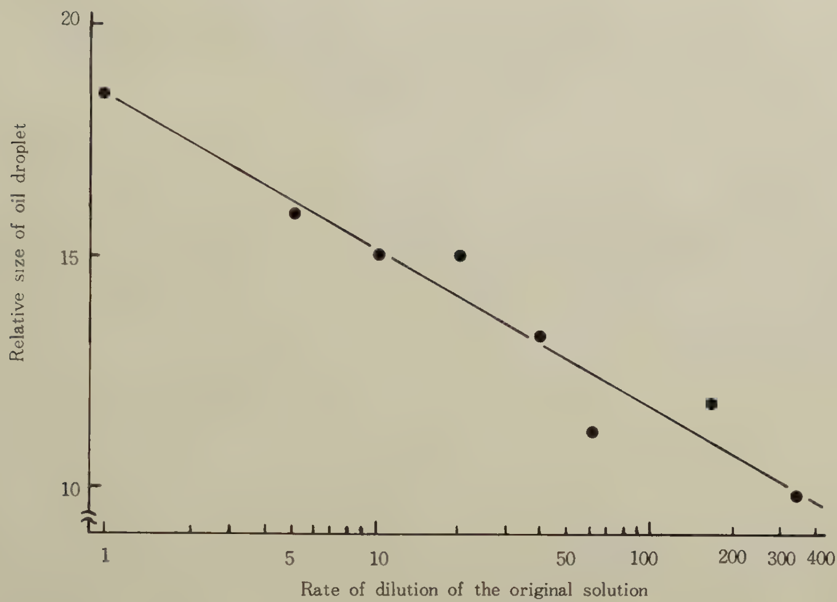


Fig. 6. Relation between oil concentration and relative size of the oil droplets in larval stomach at 24 hours after immersion. Relative sizes of the oil droplet were calculated as diamerer of oil droplet/ shell length × 100

は平均18%程度を占めるようになる。懸濁油分濃度の高い区では殻幅に対し30%を占める油滴を有する個体もみられた。

考　　察

Conover (1971)[1] はアロウ号のタンカー事故による流出油は橈脚類の *Temora longicornis* や *Calanus finmarchicus* などの動物プランクトンにより餌料とともに摂取されているが，とくに影響を与えていないことを報告している。

著者らも，シオダマリミジンコ，シオミズツボワムシなどを用いて懸濁油分の体内への取り込みを観察したが，比較的早く腸の蠕動運動により体外へ排泄することをみた。しかし，貝類の浮游幼生は，面盤の繊毛により小油滴を口に取り入れ，さらに食道の繊毛により胃に送り込む。一般に浮游幼生は鰓の機能が未発達なため海水中の懸濁油分を ほぼ無選択に取り込む。 胃中に送り込まれた油滴は胃壁の 繊毛運動により 回転し，互いに結合して次第に大きな油滴となり，ついには胃中に充満し排泄できなくなる点に，前述したシオダマリミジンコやシオミズツボワムシとの間に大きな違いを見い出した。すなわち，貝類の浮游幼生が胃中に油滴を有し斃死するのは，胃中で結合し大きくなった油滴団塊が胃中に充満し，排泄できなくなるという物理的な作用のためと思われる。また，短期間の室内実験でもみられるようにかなり低い濃度の懸濁油分でも数%の個体は油滴を胃中に有し斃死するに至るので，天然の場合，油分による低濃度の汚染海域であっても油滴のこのような取り込みは 長時間にわたることになり， 浮游幼生は斃死すると 思われる点が 問題になる。

要　　約

懸濁油分の水産生物におよぼす影響調査の一環として，貝類の浮游幼生を材料として実験した。

貝類の浮游幼生は懸濁油分を繊毛の働きで体内に取り込み，さらに食道壁の繊毛によって胃へ送り込む。とくに胃では胃壁の繊毛により油滴を回転させ団塊として充満し，体外へ排泄できずに斃死するに至る。

かなり低い油分濃度（1 ppm 程度）であっても数%の個体は油滴を胃中に有し，斃死するに至るので，この点が貝類の浮游幼生に対してはとくに問題になると思われた。

文　　　献

1) Conover, R.J., 1971 : Some Relations between Zooplankton and Bunker C Oil in Chedabucto Bay Following the Wreck of the Tanker *Arrow*. J. Fish. Res. Bd. Canada, 28, 1327–1330.

Bull. Nansei Reg. Fish. Res. Lab. (9) 83～89 (1976)

A Problem on the Filter Blank of Particulate Organic Carbon

Shiroh Uno

The adsorption blank on the determination of particulate organic carbon in the sea have been discussed by Menzel *et al.* However, the study about it's quantitative and qualitative problem of water sample have been neglected. The author examined the adsorbed carbon value with small volume of water sample. The adsorbed carbon increased with the volume of filtered water and gave the smallest value in the recent works. These results indicated the difficulty of the determination of adsorption blank.

Introduction

On the analysis of particulate organic matter in sea water using a glass fiber filter, it is commonly recognized that the extrapolated blank on varying volumes of water filtered clearly exceeds the filter blank (no used filter) only. Firstly, Menzel (1966) pointed out this problem and discussed. He thought the reason adsorption of dissolved organic matter by filter paper. The correction of adsorption blank by this method have been adopted usually.

At the point of this, the author reexamined the adsorption blank by using 25mm Whatman GF/C glass fiber filter for the purpose of a check of the blank value on the small (25mm diameter) filter and small volume (10-20*ml*) of sample, which was used for the determination of organic carbon content in cultured diatom.

Method

The sample water was the culture medium of *Skeletonema costatum* that was enriched inorganic nutrient salts to natural sea water in Exp.I, and was natural sea water pre-filtered through a Whatman GF/C (45mm) glass fiber filter and through a Whatman GF/C and a Millipore HAWP (45mm) filter, which was settled uder the former, in Exp.II and in Exp. III respectively. All natural sea water was obtained on Tsugaru-Strait. Usually it was almost clear.

In these adsorption experiments, only the Whatman GF/C glass fiber filters (25mm) were used. They were ignitioned by electric furnace at 450-500 °C for more than 1 hour.

Water volume was measured by using one to three combined pipettes in Exp. I and Exp. III (the series over 30*ml*), and a piston bulette in Exp. II and Exp. III

Received: September 8, 1976. Contribution No.61 from the Nansei Regional Fisheries Research Laboratory.

(the series of 0.1-30*ml*). Moreover, in Exp .III, measuring cylinder was used on the series over 100*ml*.

The filtration was operated succssively in less than 4 hours using 25mm Millipore filter holder and a 300*ml* filtering flask, which was made vacuous by water aspirator. The water was continuously filtered in each sample without regard to water volume. The sample filters were kept for 2 or 3 days in a desicator with Silica-gel at room temperature and finally supplied to analyze organic carbon contents by Hitachi 026 CHN Analyzer.

Results

The organic carbon contents of living diatom *Skeletonema costatum* were plotted on 1, 2, 5, and 10*ml* sample water volume. They were linear to the sample volme and their extrapolated value to 0 point of the volume was 5.47μgC. This is the

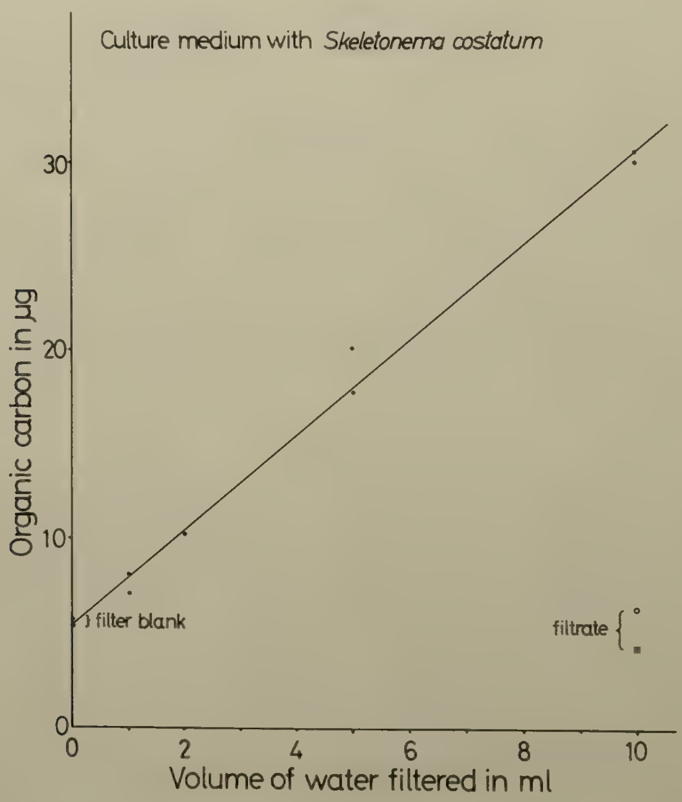


Fig. 1. Blank determination by the method of Menzel (1966) with *Skeletonema costatum* culture sample. The "filter blank" means non filtered sample, of which value is thought to be higher compared with later experiments, and the "filtrate" means the sample which 10*ml* filtrate was passed.

Exp. I and shown in Fig. 1. The adsorption blank values have been required in such a way on sample volume from 0.25 to 4.0*l* (Menzel 1966) or from 0.5 to 2.0*l* (Nishizawa 1969). It will be convincing, if the extrapolated line is rectilinear. But there are no solid foundations for the line to be rectilinear in the case of small sample volume. The value of 5.47 is too low compared with the data of Menzel (1966) and Nishizawa (1969). If the adsorbed organic carbon grows sigmoidally, this low value of adsorption blank is quite reasonable in such a experiment of small sample volume. And then it is required to attempt a more closed experiment. While the filter blank values (Mean: 5.59) which is determined by no used filters exceed the adsorption blank value in the Exp. I. They are obviously unreasonadle excess for the data obtained in later experiments (II and III) that shows 3.5 and 3.8μgC respectively, and for the filtrate blank values (Mean: 5.32) determined by the filters which 10*ml* filtrate passed in. It is thought that there are a little error on the filter blanks.

A more detailed adsorption experiment (Exp. II) was done with natural sea water pre-filtered by Whatman GF/C filter, which is shown in Fig. 2. This experiment has the data on 33 sample filters in the range of 0.1-25*ml* water sample volume. The "Filter Blank" value is 3.5μgC per sheet and organic carbon contents increase rapidly with it's sample water volume to 0.5*ml*, and then gradually from 0.5 to 25*ml*. They should so increase with the volume after 25*ml*. However, it is unknown whether the organic carbon contents increase

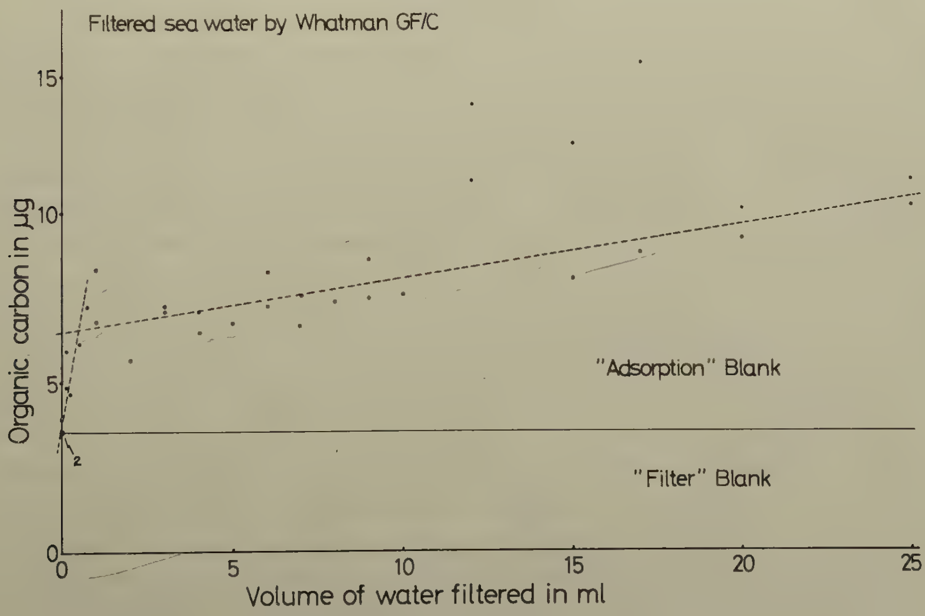


Fig. 2. Organic carbon contents of filters in which pre-filtered (by Whatman GF/C filter) sea water was passed.

unlimitedly or not, and on what volume of sample they are saturated, if limited. On the other hand, are they not saturated, the carbon contents of the rising fraction in Fig. 2 will be occupied by the small particulate matter which passed through a Whatman GF/C filter in pre-filtering, and the adsorpton blank value is devided to two parts ; true filter blank and true adsorption blank including small particle fraction. We have defined the particulate and the dissolved matter in sea water by whether they can pass or not the 0.45μm pore size (cf: Millipore HAWP). And Ogura (1970) gave that many dissolved organic carbon exists below 0.1μm. As the Whatman GF/C filter have larger and unequal pore size than the Millipore HA filter, if there are many small particles which can pass through the whatman GF/C filter on one occasion and can not pass through it on another occasion, the adsorption blank value should be too difficult to be determine.

The results of the last experiment (Exp. III) is shown in Fig. 3. The sample water was natural sea water pre-filtered by Whatman GF/C and Millipore HAWP

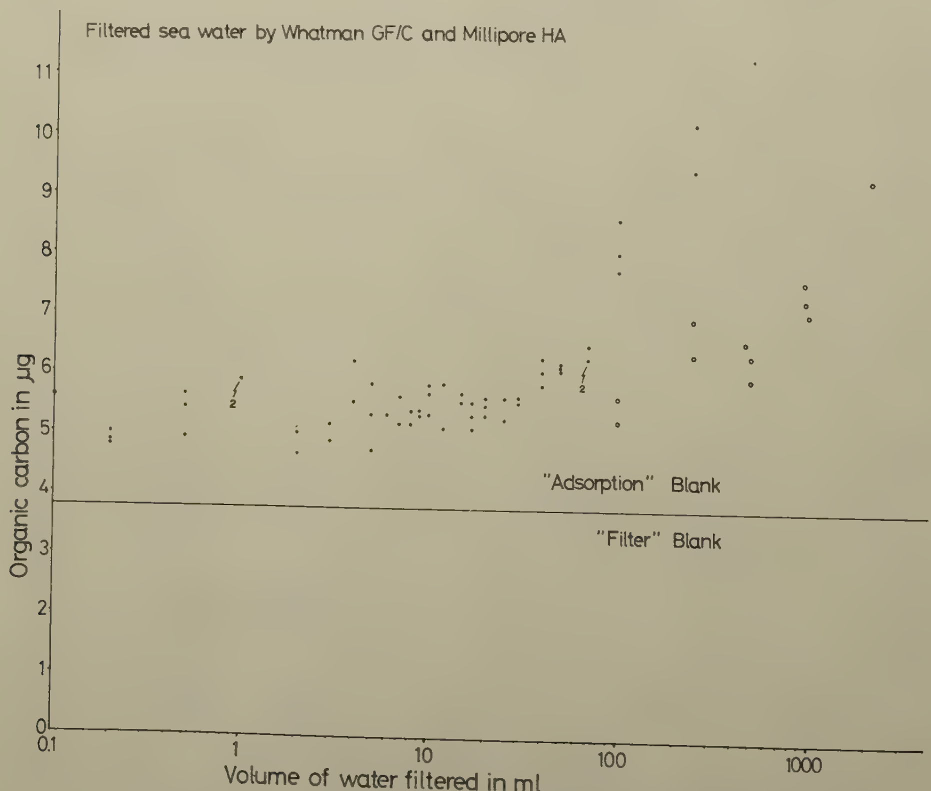


Fig. 3. Organic carbon conrents of filters in which pre-filtered (by Whatman GF/C filter+Millipore HA filter) sea water was passed. Closed circles: Series A (from 0.1*ml* to 500*ml*), Open circles: Series B (from 100*ml* to 2100*ml*).

filters. From 0.1*ml* to 2,000*ml*, the sample of 27 stages was analyzed for double or triplicate on two kind of sea water, the series A was sooner filtered after pre-filtering, the series B was done 1 week later after the pre-filtering. The organic carbon content in the filter gradually increased with the volume to 70*ml*, and it's growth pattern is simple to Exp. II. But it's quantity is about 20 % lower than the data from Exp. II. However, from 100*ml* of sample volume, the carbon contents are rapidly rising with the volume. The lowering of carbon contents in Exp. III is considered to be caused by the decreasing of dissolved organic carbon in the sample water, which depends on following two affaires ; the one is falling of small particles by filtering with Millipore HAWP and the another is adsorption of dissolved organic carbon by Millipore HAWP and Whatman GF/C filters. Quinn and Meyers (1971) suggested 86 and 48 per cent decrease of dissolved organic carbon (heptadecanoic acid) by filtering with Millipore HAWP and Whatman GF/C respectively.

Disccusion

For the purpose of blank correction for particulate organic carbon, a few method have been made. Newell and Kerr (1968) used 17μgC of filter blank, and does not used adsorption correction. Menzel (1967) carried out periodical filtering a series of samples of varing volume for the blank of surface samples and obtained 20-40μgC of "filter" plus "adsorption" blank by the positive intercept on the carbon axis. On the other hand, deep water values of particulate organic carbon were determined by the differences between 3 and 6*l* samples of filtered material. These methods are more fittable in field observations for the reason why the adsorption blank varies with each sample water. However, there are no solid foundations that the adsorption blank value increase rectilinearlly with sample water volume. Uno (1971) adopted 14.8μgC of "filter" plus "adsorption" blank in all his experiments of cultured phytoplankton. The blank value was converted from 45mm diameter filter's blank which was the mean value of natural seawater sample by the interception method. It is satisfied to have been used it's blank value throughout the experiments because of their uniformity of the quantity and the quality of sample water, but is not suitable for the difference of the water quality and the water volume between the samples and blank. Recently, Loder (1971) determined the particulate organic carbon value by the difference between two filters placed in single filter holder, so he gave the blank value 14-40μgC/*l*. This layering method is very practical, but in the case of small sample volume it is not so better because 48% of dissolved organic carbon (heptadecanoic acid) is adsorbed by glass filter as shown by Quinn and Meyers (1971).

In this study, the lowest adsorption blank values in the recent works were obtained with small sample volume. We have had no data on the blank value about small sample volume and on the increasing of the blank value with the sample volume. And if there were data on more than 1*l* sample volume in these experiments, the adsorption blank value would get closer to the data from recent works.

While the accuracy on these carbon determination is satisfactory, and the range of analyzing error was far smaller than the adsorbed carbon value. As the containable water volume in a 25mm Whatman GF/C filter is only 0.060*ml*, dissolved organic carbon of contained water in the filter is neligeble.

The difficulty of the determination of adsorption blank value depends upon it's unstableness; adsorbed carbon value obviously increases with sample volume and changes by each sample water as shown in Fig. 3. And the determination of dissolved and particulate organic matter have been ambiguous. In fact, the filtering process always does not means the selection of particles by it's size (Sheldon and Sutcliffe 1969). It is very difficult to determine the adsorption blank correctly, and necessary to do it about same quality and quantity to used sample water at least.

Summary

1. The adsorption blank value was checked using 25 mm Whatman GF/C glass fiber filters with small sample water volume.
2. Culture medium with *Skaletonema costatum,* filtered sea water by GF/C filter and by GF/C and Millipore HA filters were supplied to the experiments.
3. Adsorbed carbon values in the filter were obviously increased with the sample water volume and gave the lowest blank value in the recent works.
4. For the blank correction, it is necessary to determine the blank value with same water on quality and quantity to the sample water for particulate carbon.

Reffrences

1) Loder, T.C., 1971: Distribution of dissolved and particulate organic carbon in Alaskan polar, sub-polar and esruarine waters. Ph. D. Dissertation, Intitute of Marine Science. University of Alaska. pp.236.

2) Menzel, D. W., 1966: Bubbling of sea water and the production of organic particules: a re-evaluation. Deep-Sea Res., **13**, 963–966.

3) Menzel, D. W., 1967: Particulate organic carbon in the deep sea. Deep-Sea Res., **14**, 229–238.

4) Newell, B. S. and J. D. Kerr, 1968: Suspended organic matter in the south-eastern Indian Ocean. Aust. J. Mar. Freshwat. Res., **19**, 129–138.

5) Nishizawa, S., 1969: Suspended material in the sea II. Re-evaluation of the hypotheses. Bull. Plankton Soc. Japan, **16**, 1–42.

6) Ogura, N., 1970: On the presece of 0.1–0.5μ dissolved organic matter in seawater. Limnol. Oceanogr., **15**, 476–479.

7) Quinn, J. G. and P. A. Meyers, 1971 : Retention of dissolved organic acids in seawater by various filters. Limnol. Oceanogr., **16**, 129–131.

8) Sheldon, R. W. and W. H. Sutcliffe, Jr., 1969: Retention of marine particles by screens and filters. Limnol. Oceanogr., **14**, 441–443.

9) Uno, S., 1971 : Turbidometric continuous culture of phytoplankton : Constructions of the apparatus and experiments on the daily periodicity in photosynthetic activity of *Phaeodactylum tricornutum* and *Skeletonema costatum*., Bull. Plankton Soc. Japan, **18**, 14–27.

粒状有機炭素測定におけるフィルターブランクの問題

宇　野　史　郎

海水中の粒状有機物をガラス繊維沪紙に沪して定量する際に，溶存有機物の沪紙による吸着の問題が以前より Menzel らによって指摘されており，この値をブランク値として差し引く事が行われている。著者はこのブランク値についてこれまで行われていなかった量的，質的な検討を試みた。溶存有機物の吸着によると考えられるブランク値は一定ではなく沪水量と共に増加し，また試水の質によって異る事が明らかとなった。本研究では特に培養植物プランクトン試料についての有機炭素量測定におけるブランク補正値を求めるというねらいから，少量の試水について詳細な検討が行われたが，これまで報告されているブランク値のうち最も低い値が得られた。

BULLETIN OF THE NANSEI REGIONAL FISHERIES RESEARCH LABORATORY

is issued each year with one or two Numbers. All communications relating to this Journal should be addressed to Director.

Exchange of publication will be highly appreciated.

Address

The Nansei Regional Fisheries Research Laboratory

Director & Administrative Sections
Inland Sea Fishery Resources Research Division
Aquiculture Research Division
7782-9 Maruishi, Ōno-machi, Saiki-gun,
Hiroshima Pref., 739-04, Japan

Offshore Fishery Resources Research Division
Oceanographic Research Division
6-1-21 Sanbashi-dori, Kochi, 780, Japan

〔非売品〕

昭和51年11月25日 印 刷　　昭和51年11月30日 発 行

広島県佐伯郡大野町丸石7782—9

発行者　南西海区水産研究所
花 村 宣 彦

印刷所　株式会社 中本本店印刷

CONTENTS